

Aus dem
Medizinischem Zentrum für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde
der Philipps-Universität Marburg
Geschäftsführender Direktor Prof. Dr. Ulrich Lotzmann
Abteilung für Zahnersatzkunde
Direktor: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann
In Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH
Standort Marburg

**Zum initialen Einfluss weiter Mundöffnungen bei zahnärztlicher
Behandlung auf das Bewegungsmuster der Mandibula**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
dem Fachbereich Humanmedizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt

von

Anke Dittrich
aus Halle/Saale

Marburg, 2009

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund

Referent: Prof. Dr. U. Lotzmann

1.Korreferent: Prof. Dr. R. Stoll

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung.....	1
2	Grundlagen	3
2.1	Das stomatognathe System	3
2.1.1	Kaumuskeln.....	3
2.1.2	Kiefergelenk	5
2.1.3	Zähne und Parodont.....	8
2.2	Einfluss der Okklusion in Statik und Dynamik auf den Organismus ...	8
2.2.1	Definition von Okklusion	8
2.2.2	Körperreaktionen beim Auftreten okklusaler Störungen	9
2.2.3	Direkte und indirekte Auswirkungen okklusaler Interferenzen	13
2.3	Unterkieferbewegungen	16
2.3.1	Bewegungen des Unterkiefers in der Sagittalebene.....	17
2.3.2	Bewegungen des Unterkiefers in der Horizontalebene	18
2.4	Okklusaler Kompass	20
2.4.1	Einflussfaktoren auf die okklusalen Bewegungsbahnen.....	21
2.5	Systeme zur Erfassung von Unterkieferbewegungen.....	24
2.5.1	Mechanisch-graphische Registriersysteme	24
2.5.2	Elektronisch und berührungslos messende Registriersysteme	26
3	Material und Methode	28
3.1	Auswahl des Probandenklientels.....	28
3.1.1	Alter der Probanden	28
3.1.2	Soziales Umfeld	28
3.1.3	Körperliche Konstitution.....	28
3.1.4	Zahnbefund	28
3.1.5	Freiwilligkeit.....	29
3.2	JMA-Registriersystem der Firma Zebris	29
3.2.1	Vorbereitungen	31
3.3	Versuchsdesign.....	33

3.3.1	Übersicht	33
3.3.2	Procedere der Registrierungen	33
3.4	Bewegungsarten	35
3.5	Artikulatorexperiment	35
3.5.1	Versuchsdesign	35
3.5.2	Procedere der Bewegungssimulation im Artikulator	36
3.6	Auswertung der Messdaten	38
4	Ergebnisse	41
4.1	Ergebnisse und statistische Datenanalyse der Probandenmessungen	41
4.1.1	Deskriptive Statistik der Winkel α , β , χ sowie δ bezogen auf das Gesamtkollektiv	41
4.1.2	Überprüfung der Verteilungsform (Kolmogorov-Smirnov-Test) und Beschreibung der anzuwendenden Statistik (abhängig von Normal- verteilung oder paramedianer Verteilung)	45
4.1.3	1. Messzyklus versus 2. Messzyklus incl. Erhebung des Signifikanzniveaus	47
4.1.4	Korrelationen der Winkel α , β , γ sowie δ und Bestimmung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson	49
4.2	Ergebnisse der Bewegungssimulationen im Artikulator	53
4.2.1	Deskriptive Statistik der Winkel α , β , γ sowie δ bezogen auf alle Messungen im Artikulator	53
4.2.2	1. Messzyklus versus 2. Messzyklus (nur JMA-Sensoren wiederholt montiert)	54
4.2.3	1. Messzyklus versus 3. Messzyklus (wiederholtes Montieren und Justieren des gesamten JMA-Registriersystems)	56
5	Diskussion	58
5.1	Auswahl des Probandenklientels	58
5.2	JMA-Registriersystem der Firma Zebris	58
5.3	Versuchsaufbau	59

5.4	Auswertungsverfahren	61
5.5	Ergebnisse der Probandenmessungen	62
5.6	Überprüfung der Verteilungsform und angewandten Statistik	64
5.7	Korrelation	65
5.8	Simulation der JMA-Messung im Artikulator.....	65
5.9	Schlussfolgerung und klinische Relevanz	66
6	Zusammenfassung.....	68
6.	Summary.....	69
7	Literatur.....	70
8	Danksagung.....	89
9	Verzeichnis akademischer Lehrer	90
10	Tabellarischer Lebenslauf	91
11	Ehrenwörtliche Erklärung.....	92

1 Einleitung und Zielsetzung

Die vorliegende Studie befasst sich mit dem möglichen Einfluss von länger andauernder weiter Mundöffnung, wie sie typischerweise bei Zahnbehandlungen auftritt, auf das individuelle Bewegungsmuster des Unterkiefers.

Die räumliche Begrenzung der Unterkieferbewegung erfolgt durch die Hart- und Weichgewebe der Kiefergelenke sowie durch die Ligamente, Sehnen, Muskeln und Zähne. Innerhalb dieses anatomisch limitierten Bewegungsraumes ist der Unterkiefer ein „Spielball der Muskulatur“.

Eine der Start- und Schlusspositionen der mandibulären Grenzbewegungen ist die maximale Interkuspidation.

Mit maximaler Interkuspidationsposition oder maximaler Okklusion wird jene Unterkieferposition bezeichnet, in der ein maximaler Vielpunktkontakt bei individuell bestmöglicher Verzahnungstiefe der Oberkiefer- und Unterkieferzahnreihen besteht.

Die maximale Interkuspidation fixiert den Unterkiefer in seiner Kraniallage zum Schädel und definiert somit die Vertikaldimension („Bisshöhe“) zwischen Ober- und Unterkiefer des Patienten. Durchstellungsänderungen der Zähne, Abrasion, Zahnlockerung, Zahnverlust, aber auch durch okklusionsverändernde Maßnahmen des Zahnarztes ist die maximale Interkuspidation einer permanenten Veränderung ausgesetzt. Diese führen zwangsläufig auch zu einer Veränderungen der Kondylenstellung.

Die Qualität und Tiefe der maximalen Verzahnung ist entscheidend von Anzahl, Stellung und okklusaler Morphologie der Seitenzähne sowie von der Frontzahnrelation abhängig. Darüber hinaus sind Zahnbeweglichkeit, elastische Deformierbarkeit von Maxilla und Mandibula, Kiefergelenkresilienz sowie Muskelkraft, unter welcher der Unterkiefer in der maximalen Okklusion gehalten wird, von Bedeutung.

Okklusionskontakte in maximaler Interkuspidation dienen nicht nur der Nahrungszerkleinerung sowie der Stabilisation des Unterkiefers beim Schluckakt, sondern garantieren aufgrund einer fortwährenden Reprogrammierung der Bewegungsengramme gleichsam als Leitsignale die

spontane und zielsichere Steuerung der Mandibula aus einer beliebigen Unterkieferposition in die maximale Interkuspidation.

Exogene und endogene Faktoren können über eine Beeinflussung des Muskeltonus das individuelle Bewegungsmuster des Unterkiefers verändern und zu einer temporär verschobenen habituellen Interkuspidationsposition führen.

Bei der zahnärztlichen Rekonstruktion von okklusalen Zahnflächen sollte in der Regel die maximale Interkuspidation erhalten oder wiederhergestellt werden. Hierbei darf die „ersetzte“ Zahnfläche zu keiner Störung der zahngeführten Bewegungen des Unterkiefers führen. Die Überprüfung der okklusalen Rekonstruktion muss in jedem Fall unmittelbar zum Abschluss jeder Behandlungssitzung erfolgen. Die Kontrollen werden in maximaler Interkuspidation und bei zahngeführter Bewegung durchgeführt. Mit speziellen Farbindikatoren (Okklusionsfolien) markierte Störungen sind durch Beschleifen der Rekonstruktion zu entfernen.

Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die okklusale Kontrolle in aller Regel unmittelbar nach länger andauernder weiter Mundöffnung erfolgt.

Im Rahmen der vorliegenden Studie soll daher untersucht werden, ob eine länger andauernde weite Mundöffnung, wie sie für Zahnbehandlungen typisch ist, das Bewegungsmuster des Unterkiefers und somit auch das okklusale Kontaktmuster in Statik und Dynamik beeinflusst.

Hierzu sollen Bewegungen der Mandibula vor und nach einer halbstündigen Zahnbehandlung mit einem dreidimensional und berührungsfrei messenden Registriersystem erfasst und miteinander verglichen werden.

2 Grundlagen

2.1 Das stomatognathe System

Zum stomatognathen oder mastikatorischen System (syn. Kauorgan) zählen alle am Kauakt beteiligten Gewebe. Dazu gehören Kaumuskeln, Kiefergelenk, Kiefer, Zähne und Parodont, Wangen, Lippen, Zunge, Gefäße und Nerven.

2.1.1 Kaumuskeln

Beim Kauen führt der Unterkiefer mit Hilfe der Kaumuskeln begrenzte Bewegungen im dreidimensionalen Raum aus. Durch das Aufeinandertreffen der oberen und unteren Zahnreihen wird die Nahrung zerschnitten und zerquetscht und damit zerkleinert. Der Kauakt wird durch das Schlucken der Nahrung beendet.

Nach ihrer Funktion kann man die paarig angelegten Kaumuskeln in Adduktoren (Mundschließer) und Abduktoren (Mundöffner) unterteilen.

Zu den Adduktoren des Unterkiefers gehören:

- **Musculus temporalis.** Der Musculus temporalis ist der größte und stärkste Kieferschließer. Er reagiert empfindlicher auf okklusale Interferenzen als jeder andere Kaumuskel (Ramfjord et al., 1992). Die medialen und posterioren Anteile sind zusätzlich für die Retrusion des Unterkiefers zuständig, wobei der posteriore Anteil die meiste Arbeit verrichtet (Zwijnenburg et al. 1996). Vergleicht man die Kraftanstrengung bei der Seitwärtsbewegung, ist auf der Arbeitsseite mehr Aktivität zu messen, als auf der Balanceseite (Blanksma u. van Eijden 1995). Bei Eckzahnführung ist eine geringere Muskelarbeit festzustellen als bei Gruppenführung (Manns et al. 1987).
- **Musculus masseter.** Der Musculus masseter ist am Kieferschluss beteiligt. Ebenfalls hilft er bei Protraktion und extremen Lateralbewegungen. Bei Kaubewegungen zieht er den Kopf der Mandibula auf der Arbeitsseite schräg nach vorne. Er wirkt stets mit den Mm. temporalis und pterygoideus medialis zusammen. Bei einer im

Frontzahnbereich gemessenen Mundöffnung von 15-20 mm weist der Muskel den geringsten Muskeltonus auf und kann in dieser Kieferstellung seine maximale Kraft entwickeln. (Manns et al. 1979, Lindauer et al. 1993, Morimoto et al. 1996). Ein Unterschied in der Aktivität des Muskels bei Eckzahnführung im Vergleich zu Gruppenführung lässt sich nicht nachweisen (Borromeo et al. 1995).

- **Musculus pterygoideus mediales.** Der **Musculus pterygoideus mediales** unterstützt **M. masseter** und **M. temporalis** beim Kieferschluss und wirkt bei Protrusionbewegungen mit. Außerdem führt er den Unterkiefer bei einseitiger Aktivierung schräg nach vorne. Durch diese Funktion beeinflusst er die Lage des Kiefergelenkköpfchens in der Transversalen. Die Aktivität des Muskels bei Protrusionbewegung nimmt mit Größe und Anzahl der Zahnkontakte zu (MacDonald et al. 1984, Wood 1986). Bei zentriknahem Zähneknirschen ist bei Bewegung in posteriorer Richtung mehr Muskelaktivität zu verzeichnen als in anteriorer Richtung (Vitti et al. 1977).

Bei Kieferschluss wirken alle drei Adduktoren **Musculus temporales**, **Musculus masseter** und **Musculus pterygoideus mediales** zusammen. Beim maximalen Kieferschluss im Bereich der Zahnreihen können Kräfte von 150 bis 800 N entstehen, die von den Parodontien aufgefangen und auf den Schädel übertragen werden müssen. Somit ist eine gleichmäßige Kraftverteilung über die Okklusion anzustreben.

Zu den Abduktoren gehören:

- **Musculus pterygoideus lateralis.** Der **Musculus pterygoideus lateralis** wirkt an Protraktion und lateralen Exkursionen mit. EMG-Studien an Affen und Menschen haben gezeigt, dass die beiden Bäuche des lateralen Pterygoideus vorwiegend antagonistisch arbeiten (Molin 1973, Gibbs et al. 1984, Juniper 1983, 1984, Widmalm et al. 1987, Yoshida 1995). Der untere Bauch ist bei Mundöffnung, Protrusion und Mediotrusion aktiv. Der obere Bauch wird hingegen erst in der Endphase der Unterkieferexkursion aktiv und ist an Mundschluss, Retrusion und

Laterotrusion beteiligt. Er sorgt als Widerpart zum Stratum superius der bilaminären Zone für ein Ausbalancieren des Diskus auf dem Kondylus (Wood et al. 1986). Der hohe Anteil an Fasertyp I unterstützt diese Tätigkeit optimal. So kann lang anhaltend mit wenig Kraftaufwand Haltearbeit verrichtet werden (Eriksson et al. 1981, Mao et al. 1992).

- **Musculus digastricus.** Der Musculus digastricus besteht aus einem vorderem und einem hinterem Bauch. Zwischen den beiden Muskelbäuchen befindet sich eine Sehne, die mit einer Faszienschlinge am Cornu minus des Os hyoideum befestigt ist. Bei fixiertem Zungenbein zieht der vordere Bauch den Unterkiefer nach kaudal und dorsal und wirkt damit bei der Mundöffnung mit. In Okklusion zieht der hintere Bauch das Zungenbein nach kranial (Waldayer et al. 1993). Der Muskel setzt sich zu jeweils einem Drittel aus Muskelfasern vom Typ I, Typ IIA und Typ IIB zusammen (Erikson et al. 1982).
- **Musculus mylohyoideus.** Der Musculus mylohyoideus fungiert als Mundöffner und Mundbodenheber und kann das Os hyoideum nach ventral ziehen. Der Muskel ist ebenso bei Lateralbewegungen aktiv (Vitti et al. 1977)
- **Musculus geniohyoideus.** Für den Musculus geniohyoideus ergibt sich der gleiche Funktionsbereich wie für den Musculus mylohyoideus.

2.1.2 Kiefergelenk

Das Kiefergelenk, *Articulatio temporomandibularis*, kann als Gleit-Scharniergelenk oder doppeltes Drehgelenk beschrieben werden.

Es ermöglicht geführte und ungeführte Bewegungen des Unterkiefers. Aufbau und Art der Gelenkstrukturen definieren den maximalen Bewegungsspielraum des Unterkiefers entscheidend mit. Bis auf wenige Ausnahmen sind Unterkieferbewegungen immer kombinierte Rotations- und Translationsbewegungen der Kondylen. Hierbei drehen sich die Kondylen um eine gedachte transversale Scharnierachse und gleiten dabei gegen die *Eminentia articularis*. Die Bewegungen werden im Wesentlichen durch die Ligamente und die Gelenkkapseln begrenzt.

Das Kiefergelenk besteht aus Gelenkpfanne, Gelenkkopf, Discus,

Gelenkkapsel, bilaminärer Zone und Gelenkbänder.

Die Gelenkpfanne wird von der Fossa articulare und dem Tuberculum articulare des Os temporale gebildet. Sie gibt bedingt durch die anatomische Form die Bewegungsbahnen des Gelenkkopfes vor. Innerhalb der Fossa finden vorwiegend Scharnierbewegungen und am Tuberculum Gleitbewegungen statt. Die funktionelle Gelenkfläche liegt nicht direkt kranial, sondern ventrokaudal (Lubinsky, 1924). Er stellt zu Recht fest: "Sie artikuliert nicht mit dem Pfannengrund, sondern mit der vorderen Wand derselben, dem Tuberculum articulare."

Der Gelenkkopf ist Teil des Processus condylaris der Mandibula. Er ermöglicht durch seine spezifische Form Dreh- und Gleitbewegungen des Unterkiefers. In der Fovea perygoidea des Unterkieferhalses inseriert der M. pterygoideus lateralis.

Der Discus articularis, hauptsächlich bestehend aus Kollagenfasern des Typs I und II, lässt sich in drei Teile untergliedern:

- Pars anterior
- Pars intermedia
- Pars posterior

Aufgabe des Diskus ist es, ein reibungsloses Gleiten des Kondyluskopfes zu ermöglichen. Aufgrund seines Aufbaues ist er in der Lage, auftretende Kräfte abzdämpfen und gleichmäßig auf umliegende Gewebe zu verteilen (Gaa 1988 und Brenner et al. 1993)

Die Gelenkkapsel umgibt Gelenkkopf und Gelenkpfanne. Sie besteht aus dünnem fibrösem Gewebe und lässt sich in vier Anteile gliedern:

- medialer Anteil
- lateraler Anteil
- dorsaler Anteil
- ventraler Anteil ,oberer und unterer Bereich

Die Gelenkkapsel weist zahlreiche Propriozeptoren auf, welche mithelfen, die Wahrnehmung und Kontrolle der gegenwärtigen Unterkieferposition zu ermöglichen. Man unterscheidet vier Arten an Propriozeptoren (Wyke 1972, Clarke u. Wyke 1974, Zimny 1988).

Der Rezeptortyp I leitet über eine niedrige Schwelle Haltungsinformationen

weiter. Auf die antagonistischen Muskeln wirkt er reflektorisch inhibitorisch.

Typ II leitet ebenfalls über eine niedrige Schwelle Bewegungsinformationen weiter.

Typ III leitet erst bei Überschreitung einer hohen Schwelle Informationen weiter.

Typ IV ist zuständig für die Weiterleitung sensibler Schmerz Wahrnehmung und ist im Normalfall nicht aktiviert.

Innerhalb der bilaminären Zone befinden sich sensible und sympathische Nervenfasern. Sie sind für die Regulierung des Gefäßtonus und der Schmerzweiterleitung verantwortlich. So passt sich die bilaminäre Zone der Größenzu- und abnahme bei Kieferbewegung durch Änderung des Blutvolumens und damit Änderung der Raumfreiheit im retroartikulären Bereich an.

Die Gelenkbänder, Ligamente, bestehen aus straffem Bindegewebe. Folgende Ligamente unterstützen die Funktion des Kiefergelenkes:

- Ligamentum laterale oder temporomandibulare ist dafür zuständig die Rückschub- und Seitwärtsbewegung des Unterkiefers einzudämmen und so die retrokondylären Weichgewebsstrukturen vor Schädigung zu schützen. Außerdem hemmt der vertikale Anteil des Ligamentes die weite Mundöffnung. Die im Ligament enthaltenen Golgi-Sehnenorgane dienen der Kontrolle der Muskelspannung und Körperhaltung und damit auch der Unterkieferbewegungen.
- Ligamentum stylomandibulare soll die Vorschub- und Seitwärtsbewegung des Unterkiefers begrenzen.
- Ligamentum sphenomandibulare hemmt die Vorschub- und Einwärtsbewegung des Unterkiefers. Außerdem wird die passive Mundöffnung verhindert (Hesse und Hansson 1988, Osborn 1989).
- Tanaka's Ligament stärkt den medialen Kapselanteil.

Sensibel innerviert wird das Kiefergelenk von den Nervi auriculotemporalis, masseter und temporalis (Klineberg et al. 1970, Harris und Griffin 1975). Ebenso wie in der Gelenkkapsel sind Propriozeptoren im Ligamentum laterale und in der bilaminären Zone organisiert.

2.1.3 Zähne und Parodont

Zähne bestehen aus der härtesten Gewebsstruktur des menschlichen Organismus. Sie sind daher hervorragend geeignet, hohen Belastungen standzuhalten und harte Nahrung zu zerkleinern.

Die Zähne sind über das Desmodont federnd in der Alveole aufgehängt. Die Desmodontalmembran weist vornehmlich Typ I (Mechanorezeptor) und Typ II (Nozizeptor) Rezeptoren auf (Griffin und Harris 1974). Die Rezeptoren vom Typ I sind, wenn mit hoher Schwelle und raschen Adaptationsverhalten ausgestattet, bevorzugt an der Wurzelspitze lokalisiert, wenn mit geringer Schwelle und langsamen Adaptationsverhalten versehen, eher zirkulär um die Wurzel angeordnet (Byers und Dong 1989).

Die Mechanorezeptoren informieren permanent über die Belastungsstärke und Belastungsrichtung des Zahnes und beeinflussen damit die neuromuskuläre Steuerung des Unterkiefers. So können okklusale Störungen leicht zu einem Hyper- oder Hypotonus der Muskulatur und einem veränderten Bewegungsmuster des Unterkiefers führen.

2.2 Einfluss der Okklusion in Statik und Dynamik auf den Organismus

2.2.1 Definition von Okklusion

Jeder Berührungskontakt der Zahnreihe des Oberkiefers mit derjenigen des Unterkiefers wird als Okklusion bezeichnet (Lehmann et al. 1993). Wenn der Unterkiefer zwanglos bis zum Zahnkontakt schließt, sollte die maximale Okklusion („Schlussbiss“) eingenommen sein. Man versteht darunter eine allseitige und gleichmäßige Höcker-Fissuren-Verzahnung mit maximalem Vielpunktkontakt (Lehmann et al. 1993). Sie entspricht in der Regel auch der habituellen Interkuspidationsposition.

Ein maximaler und simultaner Okklusionskontakt verteilt die Kräfte optimal auf die Zahnreihen und hilft punktuelle Überbelastung einzelner Zähne und der angrenzenden Strukturen zu vermeiden.

2.2.2 Körperreaktionen beim Auftreten okklusaler Störungen

Okklusale Interferenzen verhindern die maximale Interkuspitation und/oder stören die zahngeführten Exkursions- und Inkursionsbewegungen.

Man unterscheidet idiopathische von iatrogen verursachten Okklusionsinterferenzen.

Idiopathische Ursachen für okklusale Störungen können sein:

- Kein normgerechter Zahndurchbruch (1. und 2. Dentition)
- Zahnwanderungen und -drehungen
- Trauma
- Attrition
- Abrasion
- Arthritis/ Arthrose

Iatrogene Ursachen können bedingt sein durch:

- Eingliederung von Zahnersatz
- Legen okklusaler Füllungen
- Kieferorthopädische Maßnahmen
- Kieferchirurgische Eingriffe wie Umstellungsosteotomien, Zahnextraktionen
- Einschleifmaßnahmen

Okklusale Interferenzen können verschiedene Auswirkungen haben. Bei einer okklusalen Interferenz reagiert das stomatognathe System in aller Regel mit erhöhtem Muskeltonus. Die hochempfindlichen Desmodontalrezeptoren melden dabei den „Ist-Wert“ an den zentralen Regler (Graber 1995). Dieser antwortet mit muskulärer Hyperaktivität und Hypertonizität.

Es werden die Kompensationsmechanismen „Abrieb“, „Pressen“, und „Vermeidungsmechanismen“ ausgelöst.

1. Durch Abrieb sollen störende Zahnflächen eliminiert werden.
2. Mit Pressen versucht der Körper den störenden Zahn in eine günstigere Position zu bringen
3. Angepasste Unterkieferbewegungen helfen die okklusale Störung zu

umgehen (Vermeidungsmechanismus).

Solange diese Kompensationsmechanismen nicht zu einer Traumatisierung von Gewebsstrukturen führen, resultiert aus den okklusalen Veränderungen eine individuelle physiologische Okklusion (Abb. 2.2.2.a).

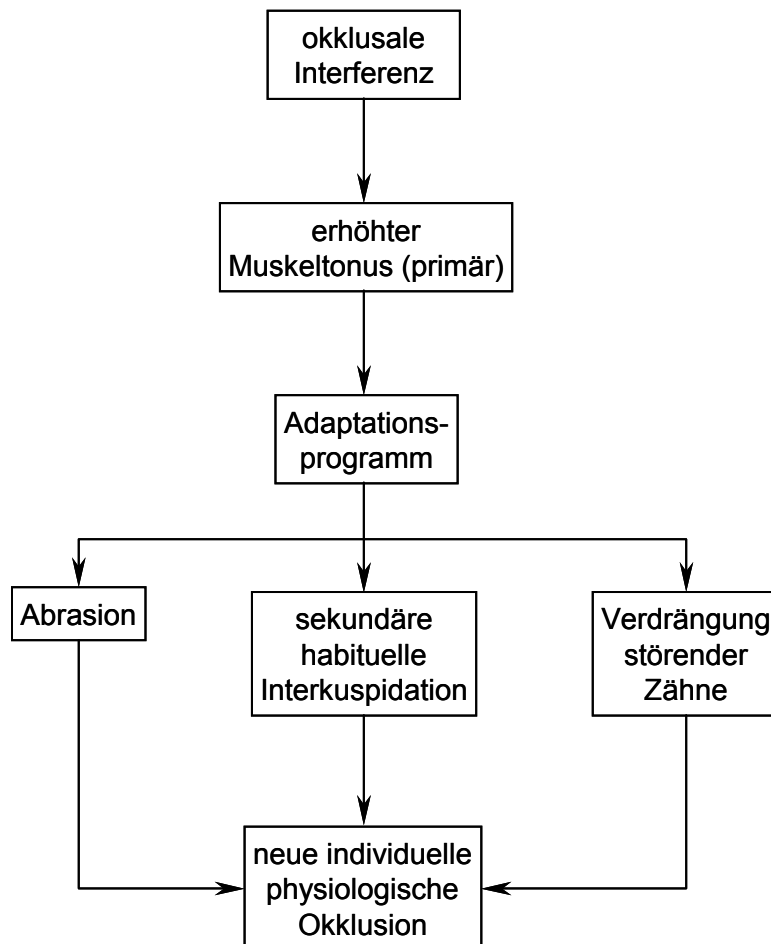


Abb. 2.2.2.a: Kompensationsmechanismen beim Auftreten von okklusalen Interferenzen (nach Graber, 1995) (Szenario 1)

Kommt zu den primären Ursachen der okklusalen Störung ein sekundärer Einflussfaktor hinzu, der ebenfalls zu Muskelhypertonus führt, entsteht eine Kumulation in der Muskelfunktion. Diese führt zu einem pathologischen Reflexkreis (Fressmeyer 1984, Graber 1981, 1983, 1984, 1985, Jäger 1990, Jäger et al. 1988, 1989, 1992, McGlynn 1989, Mühlbrandt 1976) (Abb. 2.2.2.b). Die inhibitorischen Impulse aus den Rezeptoren werden unterdrückt, die Schutzreflexe fallen aus. Die abrasiven Bewegungen verlieren ihren Zweck, das Pressen auf störende Zähne wird erhöht und zeitlich verändert (Kielholz et al. 1981, Pamijer et al. 1969). Im Weiteren führen die ursprünglich

kompensierenden, jetzt aber dekompenzierten neuromuskulären Reflexmuster zu einer motorischen Unruhe. Das Bild des so genannten Bruxismus entsteht. Bruxismus bedeutet Knirschen und Pressen der Zahnreihen zu nicht funktionalen Zwecken (Graber 1981, 1985, Jäger 1990, Krogh-Poulsen 1980, Ramfjord et al. 1968, Schärer 1974).

Sekundäre Einflussfaktoren können sein:

- Stress
- Starke Umweltreize, wie Kälte, Hitze, Feuchtigkeit
- Organisch bedingte Schwankungen, wie Pubertät, Klimakterium, Schilddrüsenerkrankungen
- Gelenkerkrankungen

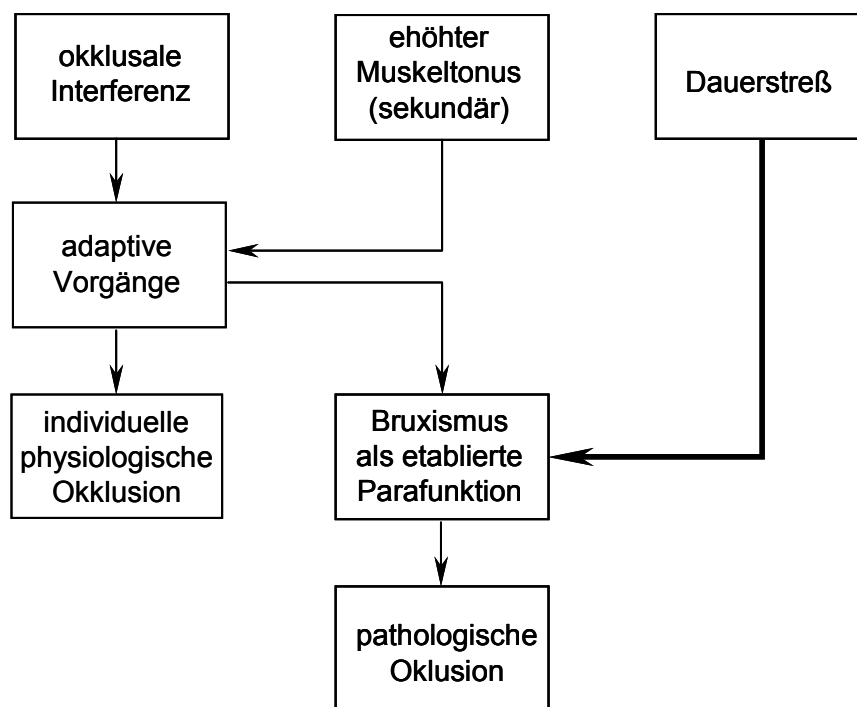


Abb. 2.2.2.b: Körpermechanismen beim Auftreten von okklusalen Interferenzen im Zusammenhang mit sekundären Einflussfaktoren (nach Graber, 1995) (Szenario 2)

Dysfunktionsbedingte Erkrankungen im Mund- Kiefer- Gesichtsbereich haben aber nicht immer Interferenzen als primäre Ursache. So kann Dauerstress allein ebenso zu Dyskinesien wie Bruxismus führen (Abb. 2.2.2.c).

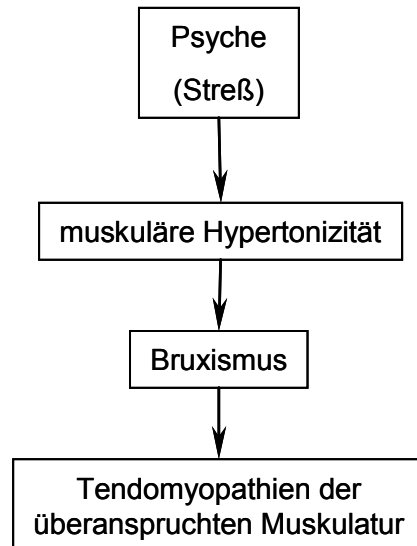


Abb. 2.2.2.c: Körpermechanismen beim Auftreten von Funktionsstörungen mit dem Ursachenfaktor Chronische Stresseinwirkung (n.Graber, 1995) (Szenario 3)

In einem vierten Szenario sind psychischen Erkrankungen verantwortlich für dysfunktionsbedingten Veränderungen (Abb. 2.2.2.d).

Psychische Erkrankungen können u.a. sein:

- Depression
- Larvierte Depression

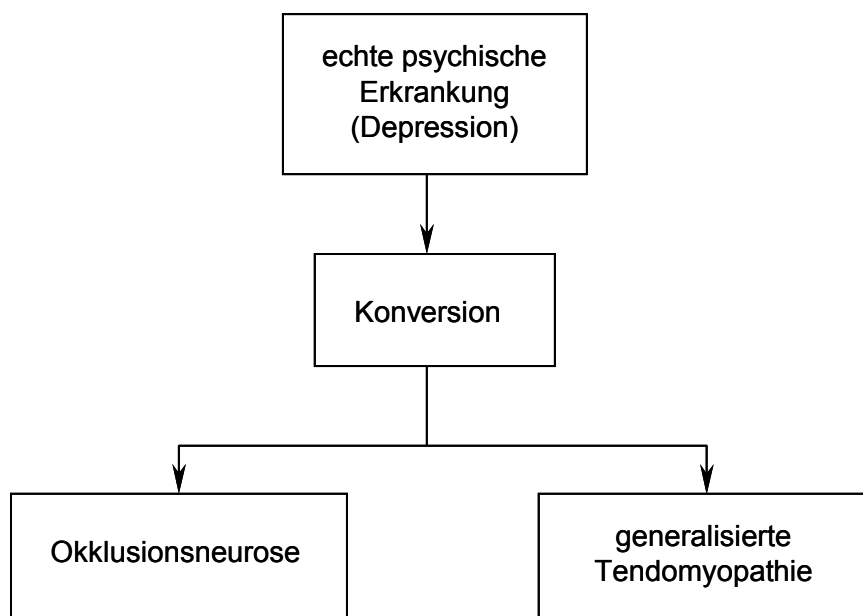


Abb 2.2.2.d: Körpermechanismen beim Auftreten von Funktionsstörungen mit dem Ursachenfaktor Psychische Erkrankungen (nach Graber, 1995) (Szenario 4)

In einem fünften Szenario können bereits bestehende artikuläre Erkrankungen, wie Polyarthrosen u.ä. zu dysfunktionellen Beschwerden führen.

2.2.3 Direkte und indirekte Auswirkungen okklusaler Interferenzen

Okklusaler Interferenzen können direkte und indirekte Auswirkungen auf die Strukturen des Gesamtorganismus zur Folge haben.

Die direkten Auswirkungen sind durch mechanische Effekte des stomatognathen Systems gekennzeichnet. Im Einzelnen werden diskutiert:

Veränderungen am Zahn:

- Abrasion (Motsch, 1980)
- Attrition (Lotzmann, 1992, Lundeen, 1982, Manns et al., 1995, Schulenburg et al., 1997, Stainer et al., 1999)
- zervikale Defekte (Leija et al. 1999, Helfgen et al. 2002)
- Frakturen von Zähnen und Füllungen (Hiatt, 1973, Ramfjord et al., 1992 Veltmaat et al., 1997)
- Schmelzrisse
- Schmelzaussprengungen

Veränderungen der Unterkieferbewegungen:

- dyskoordinierte Translation, Rotation (Kordaß, 1995)
- Limitation von Unterkieferbewegungen (MØller, 1980, Gernet, 1982, Türp, 1997, Le Bell et al., 2002)
- Beeinflussung der Bennettbewegung (Lückerath, 1991)
- veränderte Unterkiefergeschwindigkeit (Gernet, 1982, Van der Straten et al., 1995)
- veränderter Interokklusalabstand (Gernet, 1982, Ramfjord et al., 1992, Garnick et al., 1962, Tallgren, 1963, Hoffmann, 1990)
- verändertes Kaumuster (Clayton, 1982, MØller, 1980, Ramfjord et al., 1992 Behr, 2003)
- Deviation bei Mundöffnung (Keß, 1990)

Parafunktionen:

- Pressen (Drücke et al. 1980)
- Knirschen (Motsch, 1980, Lotzmann, 1992, Stainer et al., 1999, Peroz et al., 1999, Ramfjord et al., 1992, Krogh-Poulsen et al., 1968, Randow et al., 1976, Ramfjord, 1961, Budtz-Jorgensen, 1980)

Veränderungen an der Kaumuskulatur:

- neuromuskuläre Hyperaktivität (Rehmann et al., 2003, Krough-Poulsen, 1983, Griffin et al., 1975, MØller et al., 1971)
- neuromuskuläre Inkoordination (Gernet ,1982, Ramfjord, et al. 1992)
- erhöhter Muskeltonus (Clayton, 1982, Nicolakis et al., 1998, Polansky et al., 1999, Ramfjord et al., 1992)

Indirekte Auswirkungen werden durch die Körperabwehr als Folge der okklusalen Interferenz unter Beachtung des individuellen Trainingszustandes hervorgerufen.

Veränderungen am Zahn:

- Pseudopulpitis (Ramfjord et al., 1992)

Veränderungen am Parodontium:

- beschleunigte Parodontitis (Lindhe et al., 1974, Karolyi, 1901)
- okklusales Trauma
- orthodontische Bewegungen (Elongation, Intrusion, Drehung, Kippung) (Thielemann, 1938, Motsch, 1980)
- Parodontium, veränderte Struktur (Ramfjord et al., 1992, Hutchinson et al., 1968)
- verändertes Perkussionsgeräusch (Ramfjord et al., 1992)
- Wahrnehmungsreduktion parodontaler Rezeptoren (Raab et al., 1991, Ramfjord et al., 1992)
- erhöhte Zahnbeweglichkeit (Niedermeier, 1993, Ramfjord et al. 1992, Schulte et Wagner, 1990)
- Hyperzementose (McCall, 1939, 1927, Reichborn-Kjennerud, 1956, Stillmann, 1925)

Veränderungen an Knochen und Mukosa:

- Exostosen (Ramfjord et al., 1992)
- Druckstellen und Schürfstellen bei herausnehmbarem Zahnersatz (Rehmann et al. 2003)
- Schlotterkambildung

Veränderungen am Kiefergelenk, allgemein:

- Arthritis deformans (Rehm, 1982, Ramfjord, 1961, Granger, 1958, Lindblom, 1953, Markowitz et al. 1949, Posselt et al., 1958)
- Osteoarthrose/Osteoarthritis (Lotzmann, 1992, Rammelsberg et al., 1996, Peroz, 1997, Öberg und Mitarbeiter, 1971, Hansson, 1983)
- Präarthrose
- Druckdolenz des lateralen Kondylenpols (Gernet, 1982)
- Formveränderung, Discus
- Lageveränderung, Discus (Rehm, 1947, Gernet, 1982, Kordaß et al., 1994, Rammelsberg et al., 1999, Seeberger et al., 2002)
- Perforation, Discus (Slavicek, 1980)
- Schädigung der bilaminären Zone durch Kompression (Seedorf et al., 2004)
- veränderte Kondylusposition (Slavicek, 1980, Böhm et al., 1995, Rehm, 1947, Nägerl et al., 1990, Marxkors, 1999)

Gelenkgeräusche:

- Knacken (Wichmann, 1994, Toller, 1974, Yavelow et al., 1971, Blackwood, 1963, Le Bell et al., 2002)
- Krepitus

Veränderungen an der Kaumuskulatur:

- Durchblutungsstörung (Møller, 1980)
- Muskelschmerz (Møller, 1980, Gernet, 1982, Le Bell et al., 2002)
- Muskelspasmen
- Myogelosen

Andere körperliche Beschwerden:

- Dysphagie, Odynophagie, Globus pharyngis (Severin et al., 2003)
- Halswirbelsäulenbeschwerden (Göhring, 1997, Tschernitschek et al., 2001)
- Spannungskopfschmerz (Lotzmann, 1992, Gernet, 1982, Berlin et al., 1960, Magnusson, 1981, Monica, 1959, Ramfjord et al., 1992)
- Nackenschmerzen (Drücke et al. 1980)
- veränderter Schluckvorgang (Lotzmann, 1992, Ramfjord, 1961, Ramfjord et al., 1992)
- Tinnitus (Peroz et al., 2000)
- Zungenbrennen (Gernet, 1982)
- eingeschränkte Visusleistung
- Parästhesien im Gesichtsbereich

2.3 Unterkieferbewegungen

Der Unterkiefer wird neuromuskulär, aber auch über die Gelenk- und Zahnflächen geführt. Anterior sollte diese Bewegung nur durch die Frontzähne, Frontzahnführung, posterior durch die Kiefergelenke gesteuert werden. Es ist die Aufgabe eines restaurativ tätigen Zahnarztes, die Zähne so in Einklang mit der Gelenkführung zu rekonstruieren, dass die okklusoartikuläre Harmonie nicht gestört oder wiederhergestellt wird.

Die Bewegungen des Unterkiefers kann man unterteilen in zahngeführte und freie Unterkieferbewegungen.

Zahngeführte Bewegungen werden Bewegungen des Unterkiefers in Zahnkontakt von einer Okklusionsstellung in die andere bezeichnet (Lehmann et al., 1993).

Freie Bewegungen sind Unterkieferbewegungen ohne Zahnkontakt (Lehmann et al., 1993). Sie werden ausschließlich durch knöcherne und Weichgewebsstrukturen begrenzt.

Bei der Ausführung beider Bewegungsmöglichkeiten kann der Unterkiefer Grenzpositionen einnehmen. Grenzpositionen werden Extremstellungen des Unterkiefers bezeichnet, wie das beispielsweise bei maximaler Mundöffnung

oder maximaler Vorschubbewegung passiert. Die Bewegungen des Unterkiefers in die Grenzpositionen werden Grenzbewegungen genannt. Grenzbewegungen und Grenzpositionen beschreiben exakt den Raum, den ein Unterkiefer vollständig einzunehmen in der Lage ist. Bezeichnend für Grenzpositionen und Grenzbewegungen ist, dass sie reproduzierbar sind. Das macht man sich bei der Aufzeichnung von Bewegungen in verschiedenen Ebenen nutzbar.

Um Bewegungen beschreiben zu können, benötigt man gleich bleibende Referenzpunkte. Am Unterkiefer wählt man hier meist den Inzisalpunkt und die Scharnierachsenpunkte der transversalen Rotationsachse des Unterkiefers.

2.3.1 Bewegungen des Unterkiefers in der Sagittalebene

Eine bekannte Form der sagittalen Darstellung von Unterkieferbewegungen ist das Posselt-Diagramm (Abb. 2.3.1.1). Es gibt die Bewegungen am Inzisalpunkt wieder. Neben maximaler Rück- und maximaler Vorschubbewegung unter Zahnkontakt (= Artikulationsbewegungen) führt der Unterkiefer Öffnungsbewegungen (= freie Unterkieferbewegungen) aus, die in maximaler Mundöffnung enden.

Der Weg, den der Unterkiefer von der habituellen Interkuspidation bis zur maximalen Retrusionsposition zurücklegt, beträgt im Durchschnitt ca. 0,5-1,5 mm (Lehmann et al. 1993). Die Strecke zwischen habitueller Interkuspidation und maximaler Protrusionposition wird mit ca. 9 - 10 mm beschrieben (Lehmann et al. 1993).

In Ruhelage des Unterkiefers beträgt der interokklusale Abstand im Prämolarenbereich gemessen durchschnittlich ca. 2-4 mm. In diese Position gelangt der Unterkiefer durch eine kombinierte Rotations- und Translationsbewegung.

Das Rotationszentrum liegt ungefähr mittig des Kondylenkopfes. Seine Projektion auf die Haut wird als Scharnierachsenpunkt bezeichnet. Die Verbindung beider Scharnierachsenpunkte wird als Scharnierachse beschrieben.

Die maximale Mundöffnung, welche durch eine Dreh-/Gleitbewegung eingenommen wird, beträgt im Mittel 40-50 mm.

Die Bewegungen der Kondylen in der Sagittalebene kann man auch mit Angabe

von Winkeln beschreiben. Die sagittale Kondylenbahn, die der Kondylus beim Bewegen entlang des Tuberculum durch Mundöffnung beschreibt, bildet mit einer definierten horizontalen Referenzebene, wie etwa die Campersche Ebene, den Kondylenbahnwinkel. Zur Camperschen Ebene gemessen beträgt der Kondylenbahnwinkel im Mittel 33° , auf die Frankfurter Horizontale bezogen, 45° . Nach Schmidseider et al. (1982) ist die protrusive Gelenkbahn in fast allen Fällen konvex gekrümmt. Diese Krümmung kann mit einem Kreisradius beschrieben werden, der in der Regel zwischen 9 und 19 mm misst.

Es scheint einen Zusammenhang zu geben zwischen der Neigung der Kondylenbahn und der Frontzahnstellung. Je größer der Overbite, desto steiler ist der Neigungswinkel der Kondylenbahn ausgeprägt.

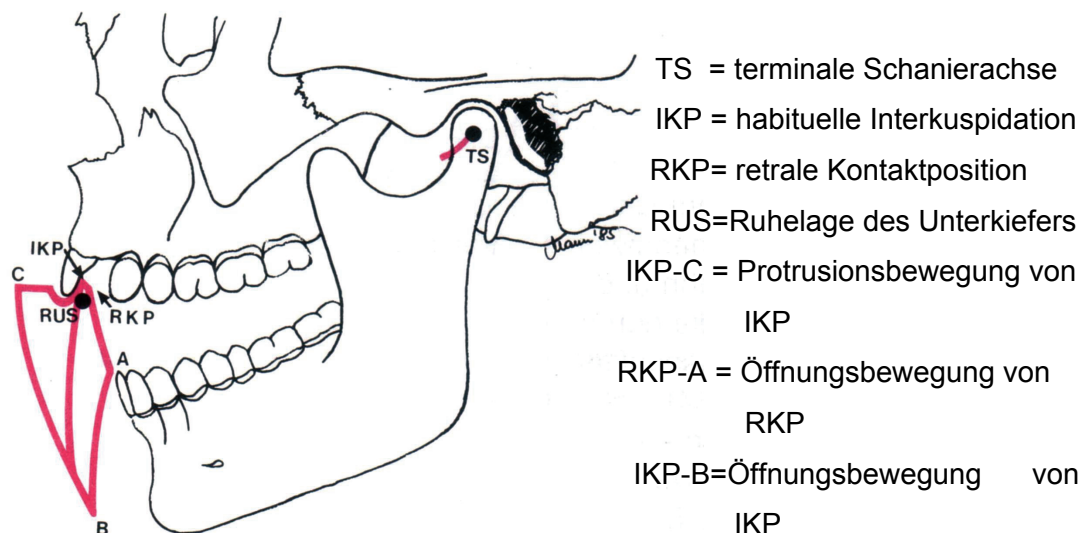


Abb. 2.3.1.: Posselt-Diagramm: Grenzbewegungen des Unterkiefers in der Sagittalen bezogen auf den Inzisalpunkt

2.3.2 Bewegungen des Unterkiefers in der Horizontalebene

Auch in der Horizontalebene lassen sich die Bewegungen des Unterkiefers beschreiben. Mit dem Gerber-Registrierat (siehe Kapitel Registriersysteme) lassen sich Grenzbewegungen und Grenzpositionen des Unterkiefers in der Horizontalebene aufzeichnen. Hierzu führt der Unterkiefer aus der retrudierten Kontaktposition Lateralbewegungen nach links und rechts aus. Auf dem Registrierat zeichnet sich ein Pfeil ab, dessen Spitze in Näherung der zentrischen Kondylenposition entspricht. Der Winkel zur Pfeilspitze wird Pfeilwinkel oder

gotischer Bogen genannt. Sein Wert liegt bei ca. 120° .

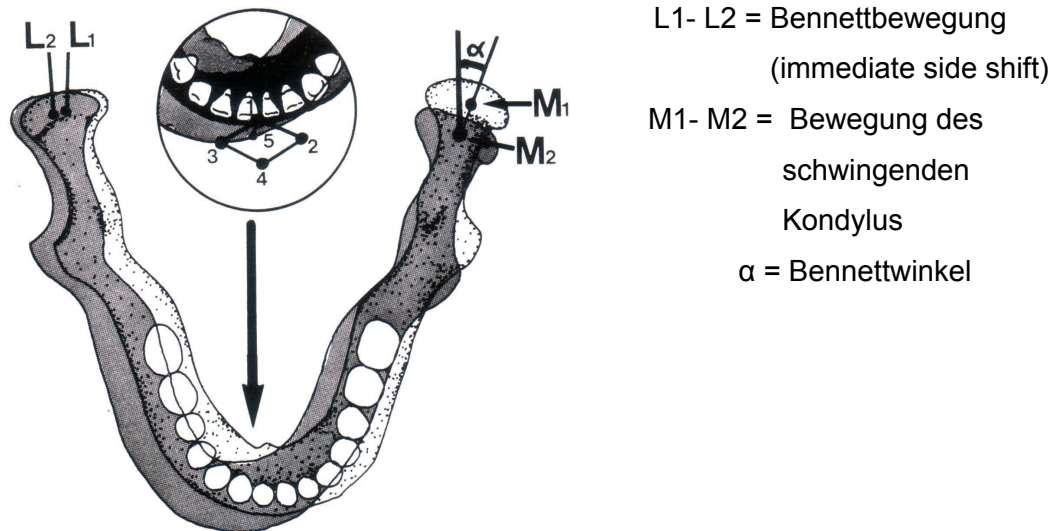


Abb. 2.3.2.: Grenzbewegungen des Unterkiefers

Der Interkondylarabstand beträgt im Mittel 110mm. Man unterscheidet den Laterotrusionskondylus (Arbeitskondylus) vom Mediotrusions- oder Nichtarbeitskondylus.

Der Mediotrusionskondylus bewegt sich bei der Seitwärtsbewegung des Unterkiefers nach anterior und zur Medianebene des Schädels hin. In der Horizontalebene ist die kondyläre Mediotrusionsbahn zu Protrusionsbahn in einem Winkel von ca. $7,5-20^\circ$ geneigt (Lee, 1969, Lehmann et al. 1993). Dieser Winkel wird als Bennett-Winkel (Abb. 2.3.2.) bezeichnet. Die Bahn des schwingenden Kondylus wird als nicht geradlinig beschrieben. Es findet eine Bewegung nach median statt. Die Translation wird "immediate side shift" (Abb. 2.3.2.) genannt. Schmideder et al. 1982 beschrieben, "diese Seitverlagerung als eine „kurvolineare Bewegung“.

Der ruhende Kondylus führt bei Laterotrusion nicht nur eine Rotationsbewegung aus. Er verschiebt sich ebenso nach lateral, was als Bennettsche Lateralbewegung (Abb. 2.3.2.) bezeichnet wird und mit dem "immediate side shift" des schwingenden Kondylus zu vergleichen ist. Sie beträgt im Durchschnitt weniger als 1 mm. Lundeen et al. betonen, dass diese Verlagerung in den ersten 3 mm der Seitwärtsbewegung auftritt. Ausmass und Verlauf der Bennett-Bewegung können einen erheblichen Einfluss auf die

Entstehung von okklusalen Interferenzen bei Lateralbewegungen haben.

2.4 Okklusaler Kompass

Die Bewegungen des Unterkiefers können auch auf die Okklusalflächen der Zähne projiziert und mit Hilfe des so genannten „okklusalen Kompasses“ veranschaulicht werden (Schulz, 1993).

Bei den Bewegungen des Unterkiefers beschreiben die zentrischen Höcker der Seitenzähne typische Spuren gegenüber der antagonistischen Kaufläche. Diese Spuren ergeben in ihrer okklusalen Ansicht den okklusalen Kompass. In den Abb. 2.4.a und 2.4.b werden die okklusalen Kompass für die gleichseitigen ersten Molaren wiedergegeben. Der okklusale Kompass am Zahn 26 (Abb. 2.4.a) entsteht durch Bewegung des distobukkalen Höckers des Zahnes 36. Der okklusale Kompass am Zahn 36 (Abb. 2.4.b) entspricht der Bewegungsspur des mesiopalatinalen Höckers des Zahnes 26. Der rote Ring in beiden Abbildungen symbolisiert die zentrale Fossa und einen Kontaktpunkt der Antagonisten bei statischer Okklusion. Die kleinen roten Punkte stellen die Konusspitzen dar. Die Bewegungsbahnen sind mit folgendem Farbcode gekennzeichnet.

1a (blau) = Laterotrusion
1b (gelb) = Lateroprotrusion
2a (grün) = Mediotrusion
2b (orange) = Medioprotrusion

3 (schwarz) = Protrusion
4 (rot) = Immediate Side Shift,
Retrusion transversaler Funktionsbereich

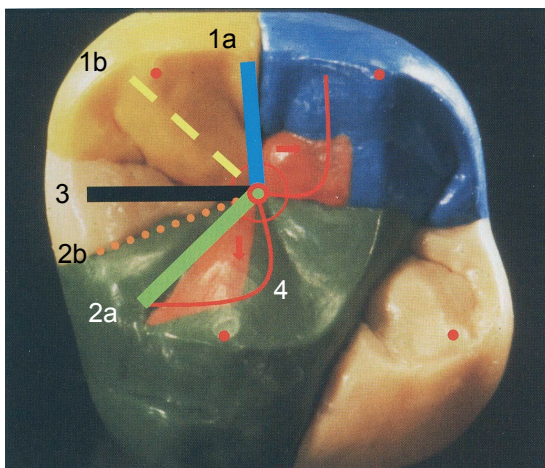


Abb.2.4.a: Oberer erster Molar
(modifiziert nach Schulz und Winzen)

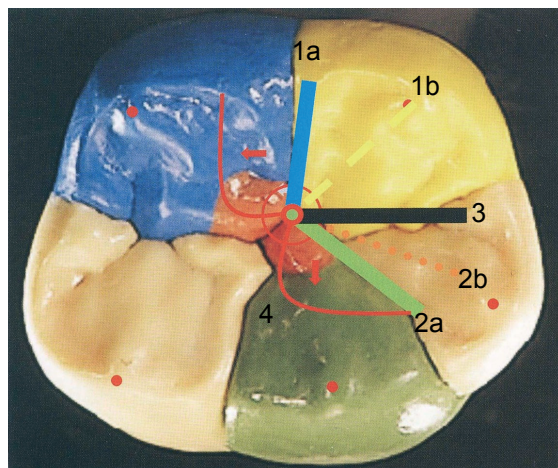


Abb.2.4.b: Unterer erster Molar
(modifiziert nach Schulz und Winzen)

Ein störungsfreies Gleiten ist nur dann möglich, wenn bei ausreichender Disklusion der Winkel zwischen den individuell unterschiedlichen Einflugschneisen bei Laterotrusions-, Mediotrusions- und Protrusionsbewegungen mit der Anordnung der Höcker und Fissuren übereinstimmt (Lotzmann, 1992). Dem ist bei allen okklusalen Eingriffen Rechnung zu tragen.

2.4.1 Einflussfaktoren auf die okklusalen Bewegungsbahnen

Die Morphologie einer Okklusalfäche wird auch von der Kondylenbahnneigung, dem Bennett-Bewegung, dem Interkondylarabstand sowie der Front- und Eckzahnstellung geprägt.

2.4.1.1 Kondylenbahnneigung

Sollen okklusale Interferenzen vermieden werden, müssen bei einer flachen Kondylenbahn die Höcker und Gruben der Seitenzähne flacher ausgebildet werden. Eine größere Kondylenbahnneigung erlaubt hingegen, steilere Höcker und tiefere Gruben auszuformen (Lotzmann 1992).

Ist der Kondylenbahnwinkel flacher als der im Artikulator eingestellte Mittelwert, so führt dies zu einer steileren Artikulationsbahn seines Kiefermodells im Artikulator, wodurch im Extremfall okklusale Fehler von circa + 450 µm auf der Balanceseite entstehen können (Pröschel et. al, 1995).

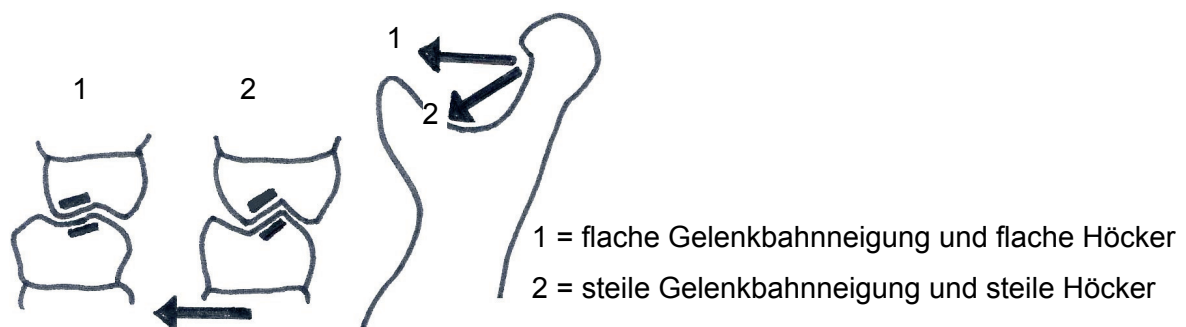


Abb. 2.4.1 a: Abhängigkeit der Höckerhöhe und Kondylenbahnneigung (modifiziert nach Lotzmann)

Die Palatinalflächen der oberen Frontzähne müssen bei flachem Kondylenbahnwinkel eine größere Konkavität aufweisen, also nach innen

stärker gekrümmt sein. Je steiler die Gelenkbahn ist, umso flacher sollte die Lingualfläche sein (Lotzmann, 1992).

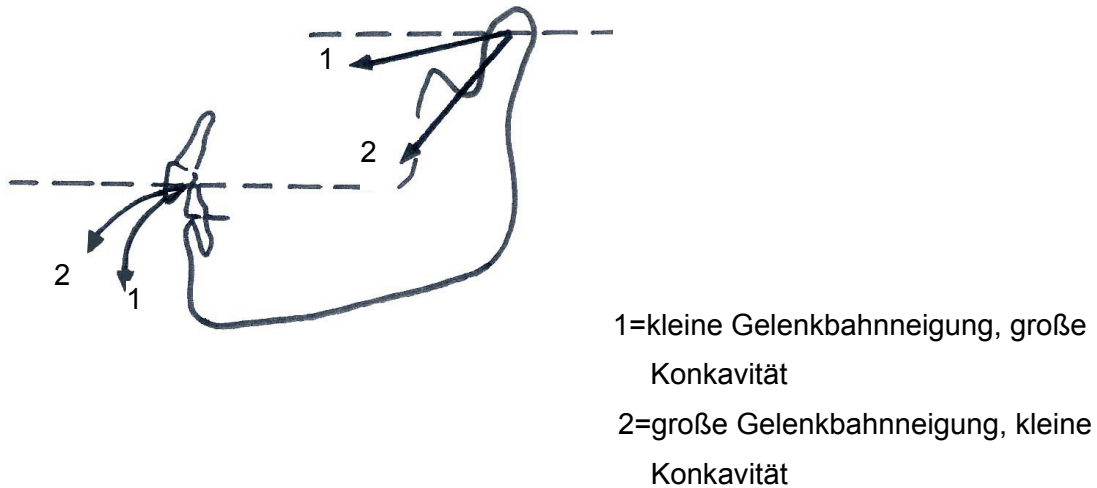


Abb. 2.4.1 b: Abhängigkeit Frontzahnkonkavität und Kondylenbahnneigung (modifiziert nach Lotzmann)

2.4.1.2 Bennett-Bewegung

Je stärker die Bennett-Bewegung ausfällt, desto flacher müssen die Höcker und Gruben, desto größer die lingualen Konkavitäten der oberen Frontzähne ausgebildet sein (Lotzmann, 1992).

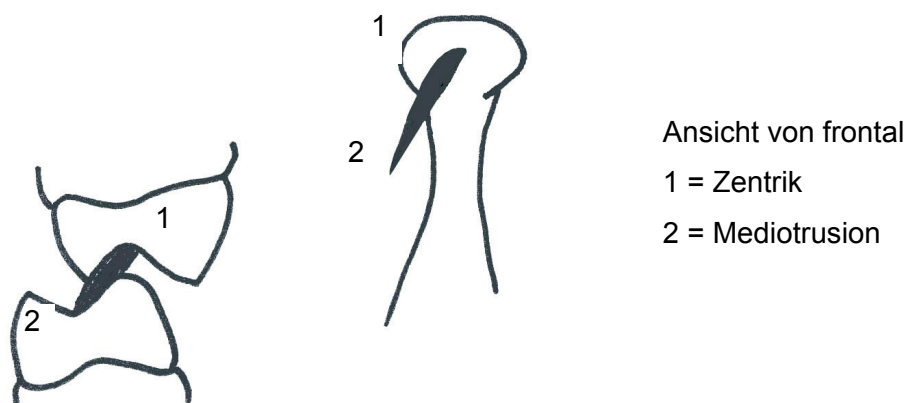


Abb. 2.4.1.c: Einfluss Bennettbewegung auf Höckerhöhe und Höckersteilheit (modifiziert nach Lotzmann)

Außerdem liegen bei größerem Bennett-Winkel stumpfere Winkelverhältnisse im okklusalen Kompass vor.

1 = geringe Bennettbewegung

2 = ausgeprägte Bennettbewegung

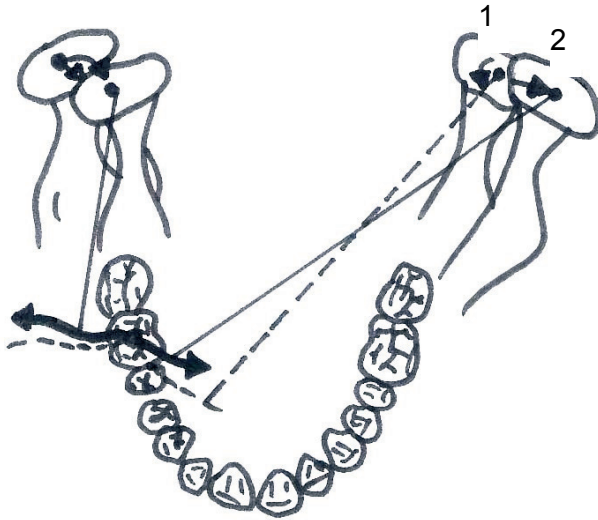


Abb. 2.4.1 d: Einfluss Bennettbewegung auf Unterkieferbewegungen
(modifiziert nach Lotzmann)

2.4.1.3 Interkondylarabstand

Je größer der Interkondylarabstand ist, desto mehr mesial liegen die Arbeits- und

Nichtarbeitswege in den oberen Zähnen und desto größer müssen die Konkavitäten der Palatinalflächen oberer Frontzähne sein (Lotzmann, 1992).

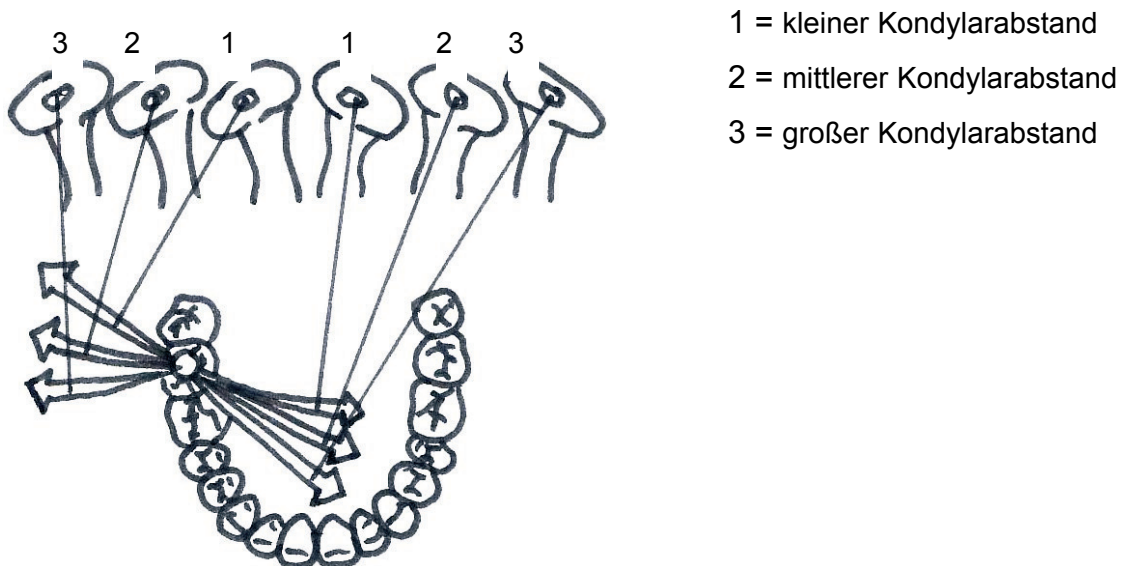


Abb. 2.4.1 e: Einfluss des Interkondylarabstandes auf die Unterkieferbewegung (modifiziert nach Lotzmann)

2.5 Systeme zur Erfassung von Unterkieferbewegungen

Zur Erfassung der Unterkieferbewegungen stehen dem Behandler verschiedene Registriersysteme zur Verfügung. Man unterscheidet grundsätzlich mechanisch-graphische Aufzeichnungssysteme von elektronischen Meßsystemen, mit oder ohne computergestützte Auswertung.

2.5.1 Mechanisch-graphische Registriersysteme

Das Prinzip der mechanisch-graphischen Registriersysteme beruht auf dem Aufzeichnen von Unterkieferbewegungen mittels eines Schreibstiftes auf einer extra dafür vorbereiteten Schreibplatte.

Es sind 2 verschiedene Systeme zu nennen:

2.5.1.1 Intraorales Stützstiftregistrat nach McGrane und Gerber

Aufgezeichnet werden Bewegungen in der Horizontalen. Hierbei okkludiert ein in der Medianebene angebrachter zentraler Stützstift gegen eine in der Okklusionsebene des Gegenkiefers orientierten Registrierplatte. Unter Stützstiftplattenkontakt führt der Patient protrusive und laterotrusive Bewegungen aus, die zu einer Pfeilwinkelaufzeichnung, „gotischer Bogen“, auf der Platte führen. Diese Methode findet bevorzugt bei der Bestimmung der zentrischen Relation bei unbezahntem oder stark reduziertem Lückengebiss Anwendung.

2.5.1.2 Achsiographisch und pantographische Registrierverfahren

Die kinematische Methode wird bei der Bestimmung der individuellen Scharnierachse und der dreidimensionalen Registrierung mandibulärer Grenzbewegungen verwendet. Die Bewegungen werden gelenknah in der Horizontal- und Sagittalebene und gelenkfern in der Horizontalebene aufgezeichnet. Die Aufzeichnung protrusiver Funktionsbahnen in der Sagittalebene geschieht mittels am Unterkieferbogen angebrachten Schreibstiften auf sagittal am Oberkieferbogen ausgerichteten Schreibplatten (Flaggen). Die gelenkferne Aufzeichnung in der Horizontalebene liefert mit Hilfe spezieller Messuhren Werte für den Bennetwinkel und den Bennett-Sideshift. Die Registrierung erfolgt in der Regel bei leicht erhöhter Kieferrelation ohne Okklusionskontakte. Die gewonnenen Parameter dienen primär der Artikulatorjustierung.

Achsio-, pantographische Registriersysteme werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Stellvertretend zu der Vielzahl auf dem Markt befindlichen Systeme sind folgende Apparaturen zu nennen: Der Quick Analyzer (Panadent), der Minirecorder (Denar), der Quick set recorder (Whip mix), der SM-Indikator (Stuart), der Rotograph (Girrbach), Axiograph (SAM), Stuart-Pantograph, Kinematograph (nach Griffin und Malor).

Als Beispiel für die elektromechanischen Registriersysteme sind der Axiotron (Fa SAM) und das Cardiax-System (Fa Gamma) zu nennen.

2.5.2 Elektronisch und berührungslos messende Registriersysteme

Elektronisch und berührungslos messende Registriersysteme ersetzen die mechanisch arbeitenden Schreibplatte und Schreibstift durch elektronische Sensorsysteme. Hier werden verschiedene Sensorsysteme angeboten: optoelektronische, Ultraschall- und Magnetsysteme.

Die gewonnenen Messergebnisse werden entweder direkt oder aber über analog-digitale Umwandler an einen Computer weitergeleitet. Jeweilige Computerprogramme ermöglichen die Darstellung der Ergebnisse in speziellen Diagrammen.

Ein wesentlicher Vorteil der computergestützten Messverfahren besteht darin, dass die außerhalb des Kiefergelenkes erfassten Bewegungsspuren bereits auf den Interkondylarabstand zurückgerechnet und dreidimensional dargestellt werden können. Zudem können Geschwindigkeit und Beschleunigung der Bewegungen erfasst und beliebig oft zur Analyse wiederholt werden.

2.5.2.1 Optoelektronische Systeme

Bei den optoelektronischen Mess-Systemen werden mehrere Lichtquellen und Lichtsensoren am Oberkiefer befestigt und gegenüber mehreren, mit dem Unterkiefer verbundenen Reflektorplatten positioniert. Der Abstand dieser Reflektorplatten ändert sich bei Bewegungen des Unterkiefers, und je nach Abstand der Lichtquelle ändert sich die von den Lichtsensoren empfangene Lichtquelle.

Als Beispiel für diese Technik sei der String Condylcomp LR3 (DENTRON GmbH Dentale Mess- und Informationssysteme, Höchberg), dessen Lichtquellen auf der Basis des Infrarot-Lichtes arbeiten, genannt.

2.5.2.2 Magnetische Systeme

Die Bewegung eines vor die Unterkiefer-Inzisiven geklebten Permanentmagneten, wird mittels einer magnetfeldsensitiven Antenne, die am Kopf der zu untersuchenden Person fixiert ist, aufgezeichnet.

Als Beispiel für diese Art der mandibulären Bewegungsmessung sei der K-5-R Kinesiograph genannt.

2.5.2.3 Ultraschallsysteme

Bei dem Verfahren handelt es sich um eine akustische dreidimensionale Messmethode, die auf der Auswertung der Laufzeiten von Ultraschallimpulsen basiert. Die Ultraschallsender sind hierbei paraokklusal im Bereich des unteren Inzisalpunktes befestigt. Die Ultraschallempfänger werden entweder paraokklusal am Oberkieferzahnbogen im Stirnbereich oder direkt an einer plastisch verformbaren Stirn-Kopfplatte oder über einen Transferbogen glabellär positioniert (Hugger, 2000). Ein Computer bereitet die gemessenen Distanzen als Bewegungsbahnen der Kondylenpunkte und des Inzisalpunktes graphisch auf.

Als Beispiele für Ultraschallsysteme seien die Geräte Jaw Motion Analyzer JMA (Zebris Medizintechnik GmbH, Isny), das Robotersystem (ROSY), sowie USR (Prototyp, Edinger, Hamburg) genannt.

Für die vorliegende Arbeit wurde der Jaw Motion Analyzer gewählt.

3 Material und Methode

3.1 Auswahl des Probandenklientels

Die Probanden wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

3.1.1 Alter der Probanden

Das Alter der Probanden betrug 19 bis 26 Jahre.

3.1.2 Soziales Umfeld

Die Probanden waren ausnahmslos Soldaten der Bundeswehr und männlichen Geschlechts. Sie dienten am gleichen Standort (Ernst-Moritz-Arndt-Kaserne in Neustadt/Hessen).

3.1.3 Körperliche Konstitution

Alle Probanden waren gesund. Erkrankungen und Verletzungen im Kopf-, Gesichts-, Nacken- und Halsbereich mussten mindestens 1 Jahr zurückliegen. Der Ausschluss von CMD-Erkrankungen nahm einen besonderen Stellenwert ein. Zur Dokumentation diene der aktuelle klinische Funktionsstatus der Arbeitsgemeinschaft für Funktionslehre in der DGZMK.

Unter den Probanden befanden sich Wehrpflichtige und Zeitsoldaten. Alle Probanden hatten ihre dreimonatige Grundausbildung bereits absolviert. Soldaten, die sich in ständiger Bereitschaft zum Auslandseinsatz, kurz vor oder kurz nach einem Einsatz befanden, wurden vom Experiment ausgeschlossen. Es wurde darauf geachtet, dass während des Experimentes keine großen körperlichen Anstrengungen, wie Leistungsmärsche und Biwak, stattfanden.

3.1.4 Zahnbefund

Ungeeignete Probanden wurden durch Vorkontrolle des Gebisszustandes vor Experimentbeginn aussortiert. Zugelassen wurden nur Probanden, die folgende Kriterien erfüllten:

- Vollbezahnung; das Vorhandensein von Weisheitszähnen war nicht erforderlich
- kariesfreies und ggf. konservierend saniertes Gebiss

- keine behandlungsbedürftigen Parodontopathien
- weitgehend harmonischer Gebisszustand

3.1.5 Freiwilligkeit

Die Mitarbeit des Probanden setzte eine freiwillige Einwilligungserklärung voraus. Diese wurde vor dem Beginn des Versuches vom Patienten schriftlich eingeholt. Mit Teilnahme an der Studie waren für den Probanden keine irreversiblen Schäden zu erwarten waren.

3.2 JMA-Registriersystem der Firma Zebris

Zur Messung der Unterkieferbewegungen kam das JMA (Jaw Motion Analysis)-Registriersystem der Firma Zebris zur Anwendung (Abb. 3.2.a, b). Es misst dreidimensional Bewegungen auf der Basis von Ultraschallimpulsen. Das Gerät arbeitet mit einer Ultraschallfrequenz von 40 kHz. Es werden 100 Messungen pro Sekunde ausgewertet.

Der Ultraschallsender ist hierfür paraokklusal im Bereich der unteren Frontzähne befestigt. Der Ultraschallempfänger orientiert sich über einen Gesichtsbogen an der Glabella. Computergestützt werden die gemessenen Distanzen als Bewegungsbahnen der Kondylenpunkte und des Inzisalpunktes graphisch aufgezeichnet.



Abb. 3.2.a: JMA-Registriersystem der Firma Zebris (1 = Grundgerät (Transformator), 2 = Gesichtsbogen, 3 = Fußschalter, 4 = Empfängermodul, 5 = Messsensor, 6 = Tastspitzen, kurzer Zeiger und T-Zeiger)



Abb. 3.2.b: JMA-Registriersystem mit Laptop zur graphischen Darstellung der Unterkiefer bewegungen

3.2.1 Vorbereitungen

3.2.1.1 Programmeinstellungen

Zur Anwendung kam die WinJaw Version 10.05.15, letztes Update 28.05.05.

Im Feld "Database" unter "Project" wurde der Titel des Experimentes eröffnet.

Unter "Subjects" wurden Vor- und Zuname bzw. Geburtsdatum des Probanden gespeichert.

Bei „New Records“ wurde unter „Configurations“ der Typ „Standard“ mit „Sensor one und kinematic axis“ ausgewählt. Außerdem wurden im Zusatzfeld "3D Input Configuration" die Bewegungen unter „Exercises“ gekennzeichnet, sowie "Show axis Position with Pointer" und "Incisal point: defined by Pointer " angekreuzt.

Bei der Programmauswahl "kinematic axis" errechnet sich der Computer durch mehrmaliges Ausführen von Vorschub- und Öffnungsbewegungen die kinematische transversale Scharnierachse. Hierzu wurden zunächst durch spezielle Tastspitzen Scharnierachsenpunkte rechts und links, Suborbitalpunkt und Inzisalpunkt des Patienten abgegriffen. Die Punkte wurden wie folgt definiert:

- Auf einer Linie vom bogenförmigen Randpunkt des Tragus zum lateralen Augenwinkel wurden 1cm vom Tragus entfernt die Scharnierachsenpunkt rechts und links gewählt.
- Auf einer gedachten Linie vom medialen Augenwinkel bis zum äußersten Punkt des rechten Nasenflügels wurde vom Augenwinkel 2 cm abwärts der Suborbitalpunkt gewählt.
- Der Inzisalpunkt ist definitionsgemäß der Approximalkontakt zwischen den beiden zentralen unteren Inzisiven. Da dieser Punkt in maximaler Okklusion aufgrund des vertikalen Frontzahnüberbisses nicht eingemessen werden kann, wurde der Approximalkontakt der oberen Inzisiven als Referenzpunkt gewählt.

3.2.1.2 WinJaw-Unterkieferattachment und paraokklusaler Löffel

Für jeden Probanden wurde ein WinJaw-Unterkieferattachment individualisiert.

Zur Herstellung dieser individuellen Paraokklusallöffel wurden zunächst Alginatabformungen des Probandenunterkiefers genommen und mit Blaugips

ausgegossen.

An dem Unterkiefermodell wurden die T-förmigen Unterkieferattachments zunächst mit einer in der Kieferorthopädie gebräuchlichen Flachzange dem Zahnbogen angepasst. Die individuelle Passgenauigkeit wurde mit dem selbsthärtenden Kunststoff Luxatemp® erreicht (Abb. 3.2.1.2). Um ein Verkleben des Kunststoffes mit dem Blaugips zu verhindern, wurde das Modell zuvor dünn mit Vaseline bestrichen. Anschließend wurde der mit Luxatemp ausgeformte Paraokklusallöffel mit der Fräse getrimmt.

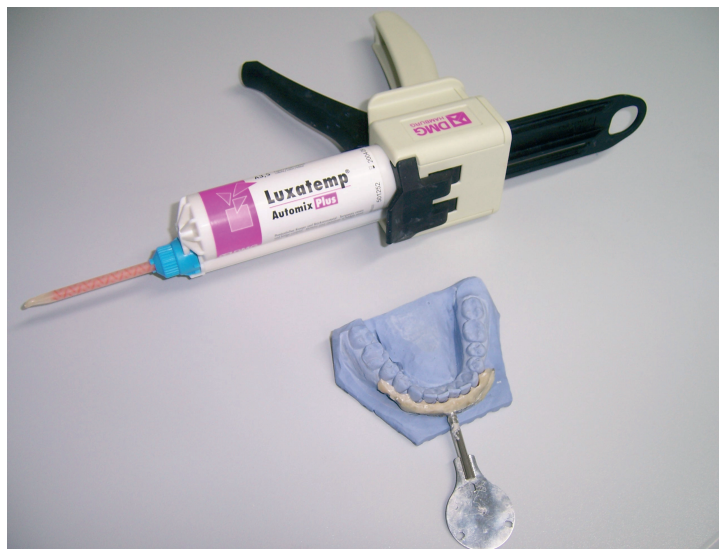


Abb. 3.2.1.2.: Unterkieferattachment

Bei der Herstellung des Paraokklusallöffels wurde darauf geachtet, dass die seitlichen Arme des Löffels derart gestaltet waren, dass sie bei späterer Anwendung die maximale Interkuspidationssituation als auch die zahngeführten Seitwärtsbewegungen des Unterkiefers nicht behinderten.

Das individualisierte Unterkieferattachment wurde an den Unterkieferfrontzähnen des Probanden mit dem Glasionomerzement Ketac-Cem fixiert.

3.3 Versuchsdesign

In der Studienhypothese wurde angenommen, dass sich die Bewegungsmuster des Unterkiefers vor und nach zahnärztlicher Behandlung, also nach langer Mundöffnung, signifikant unterscheiden.

Ziel der Versuchsanordnung war es, diese Hypothese auf ihren Wahrheitsgehalt hin zu überprüfen.

3.3.1 Übersicht

Am Patienten wurden Unterkieferbewegungen gemessen. Zur Anwendung kam das JMA-Registriersystem der Firma Zebris, welches auf der Basis von Ultraschallimpulsen misst (Hugger 1998,1999, 2000, Kordaß,1992).

Pro Patient wurden zeitlich voneinander abgegrenzt 3 Messzyklen vorgenommen.

Es ergibt sich folgendes Versuchsschema:

1. Messzyklus vor der Behandlung
2. Messzyklus direkt nach der Behandlung
3. Messzyklus nach 7 Tagen

3.3.2 Procedere der Registrierungen

Alle drei Messzyklen wurden in gerader Körper- und Kopfhaltung in Sitzposition auf dem Behandlungsstuhl durchgeführt.

Der erste Messzyklus erfolgte vor der Behandlung. Zu dem Zeitpunkt befand sich der Proband in einem erholten und unbelasteten Zustand.

Es wurden Personendaten wie Name, Vorname, Geburtsdatum im Computer eingegeben und damit nachfolgende Messzyklen für den Probanden gekennzeichnet.

Der Jaw Motion Analyzer wurde am Probanden fixiert und individuell justiert.

Es folgte der erste Messzyklus mit den definierten Unterkieferbewegungen (siehe 3.4). (Abb. 3.3.2.a)



Abb. 3.3.2.a: Gerätemontage

Die Ultraschallsensoren wurden von ihren Magnethaltern entfernt. Der Gesichtsbogen (=Referenzbogen) blieb allerdings am Kopf des Probanden fixiert. Der Proband wurde nun aufgefordert, den Mund für die zahnärztliche Behandlung zu öffnen (Abb. 3.3.2.b). Die Zahnbehandlung bestand hier aus einer weitgehend schmerzfreien professionellen Zahnreinigung und dauerte ca. 30 Minuten. Dem Probanden wurde während der Behandlung erlaubt, den Mund bei Bedarf für kurze Zeit zu schließen.



Abb. 3.3.2.b: Mundöffnung

Unmittelbar im Anschluss an die 30minütige Behandlung wurden das Empfängermodul und der Messsensor bei unveränderter Justierung erneut montiert und ein zweites Messzyklus mit der gleichen Bewegungsabfolge wie beim ersten Messzyklus durchgeführt

Nach Beendigung dieser Registrierung wurde das Gerät komplett vom Kopf des Probanden entfernt.

Nach 7 Tagen erfolgte für jeden Probanden nach erneuter klinischer Funktionsanalyse der dritte Messzyklus mit identischer Bewegungsabfolge. Die Montage Jaw Motion Analyzers machte allerdings eine erneute Justierung des Messgerätes erforderlich.

3.4 Bewegungsarten

Folgende Unterkieferbewegungen wurden vom Probanden ausgeführt: Start- und Endpunkt jeder Bewegung war die maximale Interkuspitation:

1. Weite Öffnungs- und Schließbewegung
2. Weite exkursive und inkursive Laterotrusion unter Zahnführung nach links.
3. Weite exkursive und inkursive Laterotrusion unter Zahnführung nach rechts.
4. Weite exkursive und inkursive Protrusion unter Zahnführung.

Jede genannte Bewegungsart wurde insgesamt 9-mal pro Messzyklus wiederholt.

3.5 Artikulatorexperiment

3.5.1 Versuchsdesign

Um sicherzustellen, dass das wiederholte Montieren und Justieren des Messsystems keinen Einfluss auf die Ergebnisqualität hat, wie vom Hersteller postuliert, wurde anschließend der Einfluss einer wiederholten Montage im Rahmen eines Artikulatorexperiments überprüft.

3.5.2 Procedere der Bewegungssimulation im Artikulator

Aus Blaugips gefertigte Ober- und Unterkiefermodelle wurden in einem Artex-Artikulator schädelgerecht montiert. Der JMA-Gesichtsbogen wurde am Artikulatoroberteil befestigt, der Messsensor wurde mit Hilfe eines paraokklusalen Löffels an der Frontzahnregion des Unterkiefermodells angebracht (Abb. 3.5.2.a). Es wurden die gleichen Computereinstellungen wie bei den Probandenmessungen gewählt. Besonderheiten ergaben sich lediglich bei der Festlegung der Referenzebene, die hier wie folgt definiert wurde:

Die Scharnierachsenpunkte links und rechts wurden am Gelenkköpfchen des Artikulators abgegriffen.

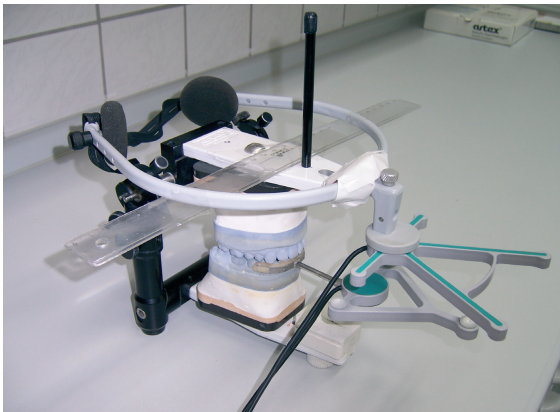


Abb. 3.5.2.a: Gerätemontage



Abb. 3.5.2.b: Eingabe Infraorbitalpunkt

Der Infraorbitalpunkt wurde in entsprechender Höhe am montierten Oberkiefermodell eingezeichnet und mit dem Taststift vorschriftsgemäss in den Computer übertragen (Abb. 3.5.2.b).



Abb. 3.5.2.c: Oberkieferplatte



Abb. 3.5.2.d: Unterkieferplatte

Im Oberkiefer wurde zwischen den Zähnen eine Kunststoffplatte befestigt, die einen Stift zum Aufzeichnen der Bewegung beinhaltete (Abb. 3.5.2.c).

Der Unterkiefer beinhaltete eine Kunststoffplatte mit definiert eingefrästen Bewegungsbahnen für die Protrusion und Laterotrusion rechts und links (Abb. 3.5.2.d). Um eine exakten Führung zu gewährleisten entsprach die Breite der Bewegungsrillen der Breite des Oberkieferstiftes.

Es wurden analog zur Messung an den Probanden folgende Messzyklen mit dem JMA-Gerät erfasst (Abb. 3.5.2e –h).



Abb. 3.5.2.e: Öffnungs- und Schließbewegung



Abb. 3.5.2.f: Laterotrusion nach links



Abb. 3.5.2.g: Laterotrusion nach rechts

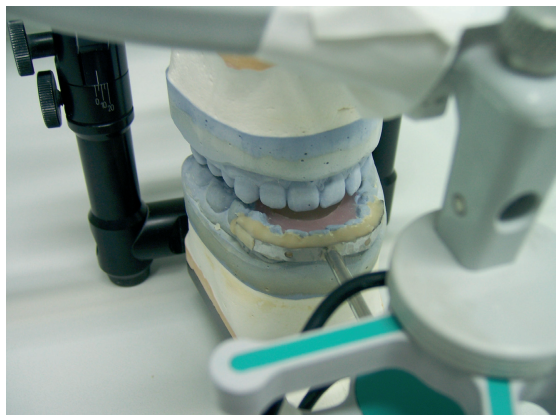


Abb. 3.5.2.h: Protrusion

Zwischen erstem und zweitem Messzyklus wurden die Sensoren entfernt und zur Messung wieder angebracht.

Zwischen zweitem und drittem Messzyklus wurde das JMA-Gerät komplett entfernt und wieder montiert und neu justiert.

3.6 Auswertung der Messdaten

Die Bewegungen des Unterkiefers lassen sich dreidimensional in der Sagittal-, Horizontal- und Frontalebene beschreiben. Diese Ebenen stehen senkrecht zueinander (Abb. 3.6.a).

Im Rahmen dieser Studie wurde die horizontale Referenzebene für jeden Probanden individuell bestimmt. Sie ist hier definiert durch den Infraorbitalpunkt und die beiden durch kinematische Achsenbestimmung genau lokalisierten Scharnierachspunkte, welche auf der transversalen Scharnierachse des Unterkiefers liegen.

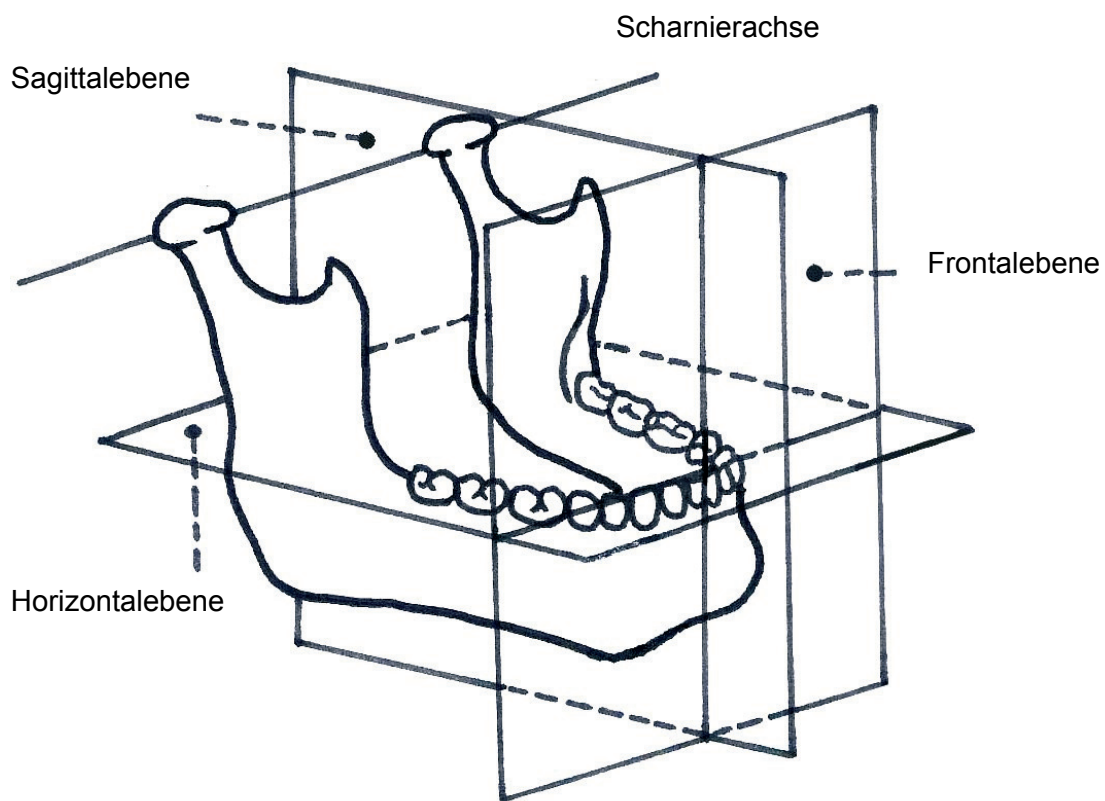


Abb. 3.6.a: Ebenen im dreidimensionalen Raum
(modifiziert nach Lehmann et al.)

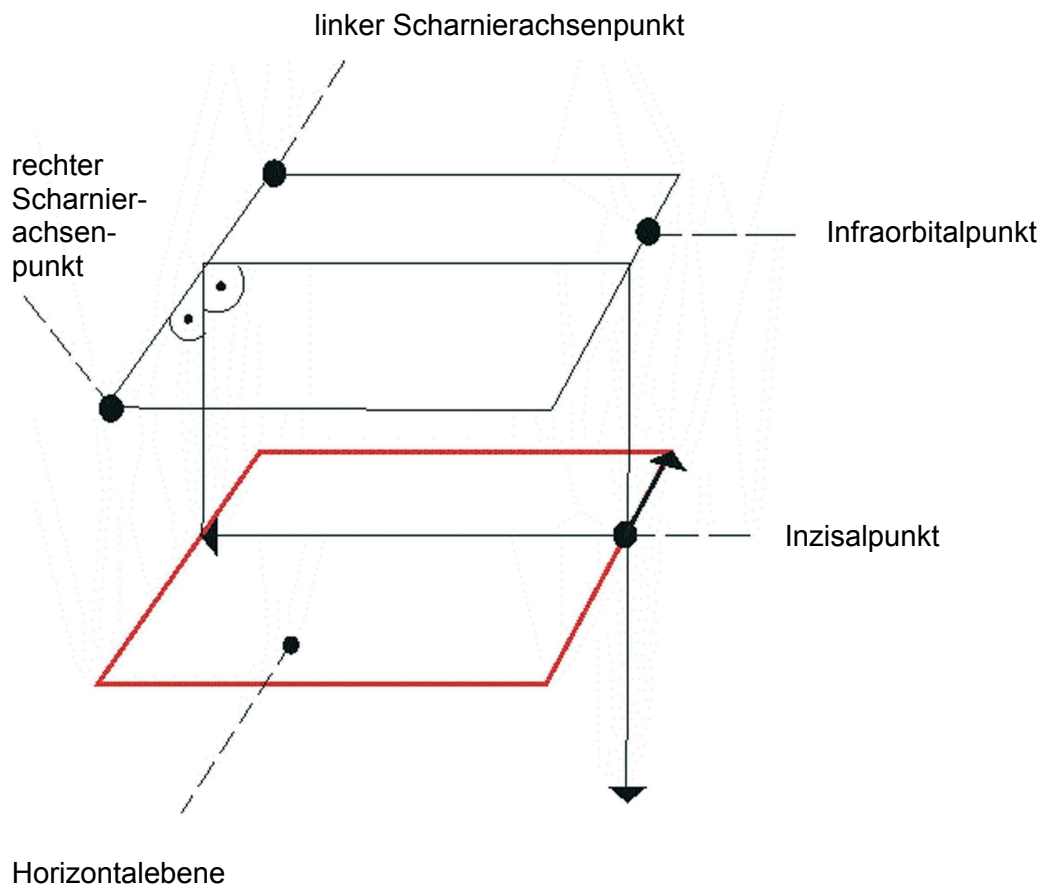


Abb. 3.6.b: Graphische Darstellung der Referenzebene

Sowohl Sagittal-, Horizontal- als auch Frontalebene verlaufen bei maximaler Okklusion durch den Inzisalpunkt.

Im Rahmen dieser Studie wurden die aufgezeichneten Bewegungen des Unterkiefers ausschließlich in ihrer Projektion auf die Sagittal- und Horizontalebene ausgewertet.

In der Sagittalebene ergab sich für die Schließbewegung der Winkel α .

In der Horizontalebene ergaben sich für die exkursive zahngeführte Lateralbewegung nach links der Winkel β und nach rechts der Winkel χ , sowie für die exkursive zahngeführte Protrusionsbewegung der Winkel δ (Abb. 3.6.c-d).

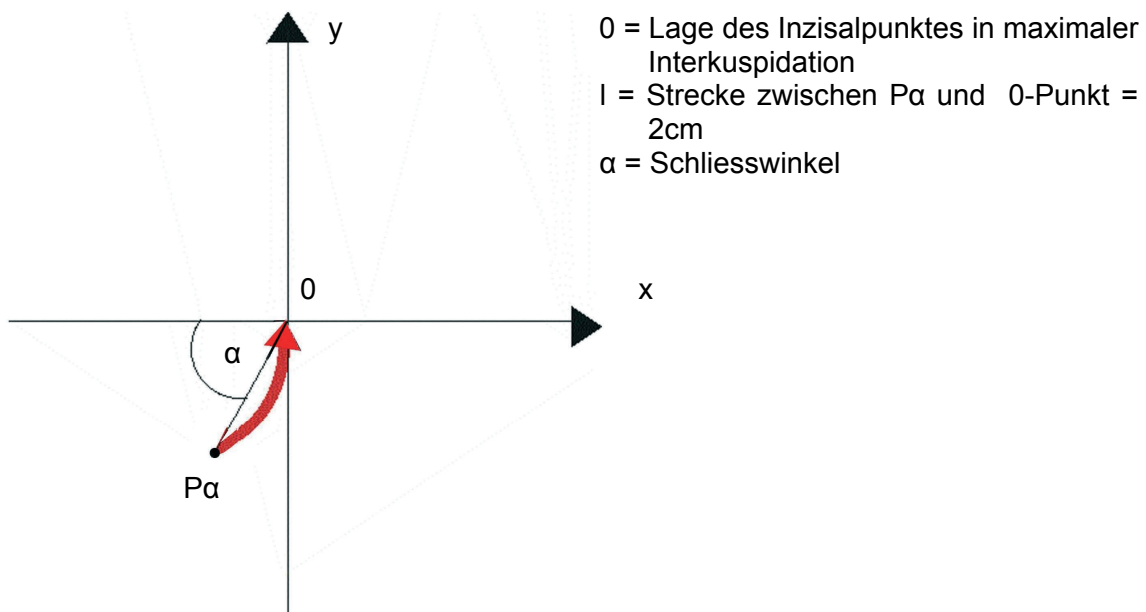
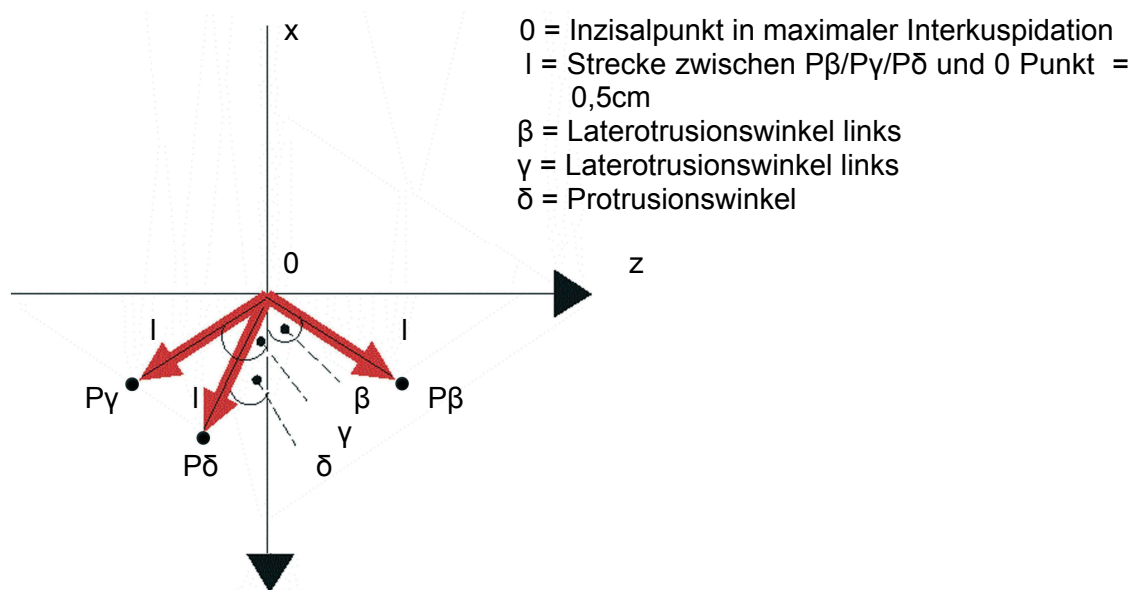
Abb. 3.6.c: Definition des Winkels α 

Abb. 3.6.d: Definition der Winkel β , γ sowie δ
 Aus Darstellungsgründen ist die Protrusionsspur hier als Laterotrusionsbewegung dargestellt

Die Bezeichnungen der Winkel wurden um die Messreihennummern ergänzt, z.B.: α 1... für den ersten Messzyklus, α 2 ... für den zweiten Messzyklus, α 3 ... für den dritten Messzyklus.

Die statistische Aufbereitung des Datenmaterials erfolgte mit dem Statistikpaket SPSS für Windows, Version 15.0 (SPSS Inc., U.S.A.).

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse und statistische Datenanalyse der Probandenmessungen

4.1.1 Deskriptive Statistik der Winkel α , β , χ sowie δ bezogen auf das Gesamtkollektiv

An 15 Probanden wurden je 9 Messungen vorgenommen, so dass insgesamt pro Winkel 135 Messungen resultieren.

n = 135		$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
Mittelwert		73,261	71,186	70,302
Median		71,500	68,700	70,900
Standardabweichung		10,6268	11,7372	7,1924
Minimum		55,2	46,6	52,0
Maximum		105,2	103,4	86,0
Perzentile	25	64,700	63,600	67,000
	50	71,500	68,700	70,900
	75	79,400	78,400	74,700

Tab. 4.1.1.a: Deskriptive Statistik für α

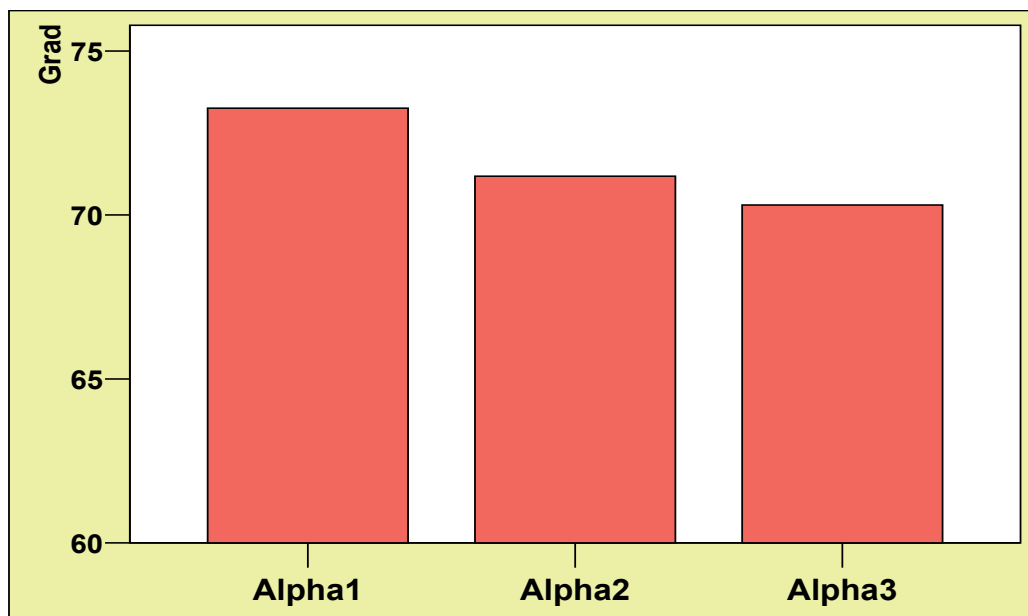


Abb. 4.1.1.b: Vergleich der α -Winkel der Messzyklen 1 bis 3

Im Vergleich der Messungen ist der Mittelwert von $\alpha 2$ im zweiten Messzyklus um 2,1° kleiner als der Mittelwert von $\alpha 1$ des ersten Messzyklus.

Der Median ist in der zweiten Messung mit 2,8°, sowie das Minimum mit 1,1° und das Maximum mit 1° kleiner. Die Standardabweichung ist im zweiten Messzyklus mit 1,1° höher als im ersten Messzyklus.

n = 135		β_1	β_2	β_3
Mittelwert		72,399	70,729	74,761
Median		71,800	69,400	72,700
Standardabweichung		6,3728	6,5809	10,4757
Minimum		57,8	58,0	61,2
Maximum		89,8	86,4	116,5
Perzentile	25	68,300	65,500	69,300
	50	71,800	69,400	72,700
	75	75,600	74,300	76,500

Tab. 4.1.1.c: Deskriptive Statistik für β

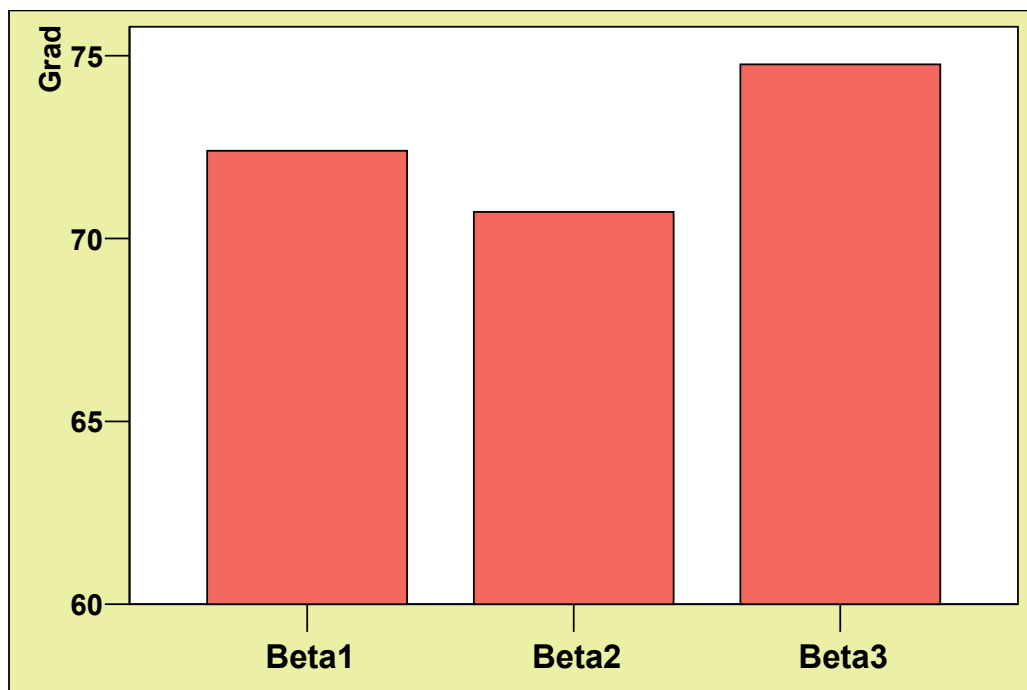
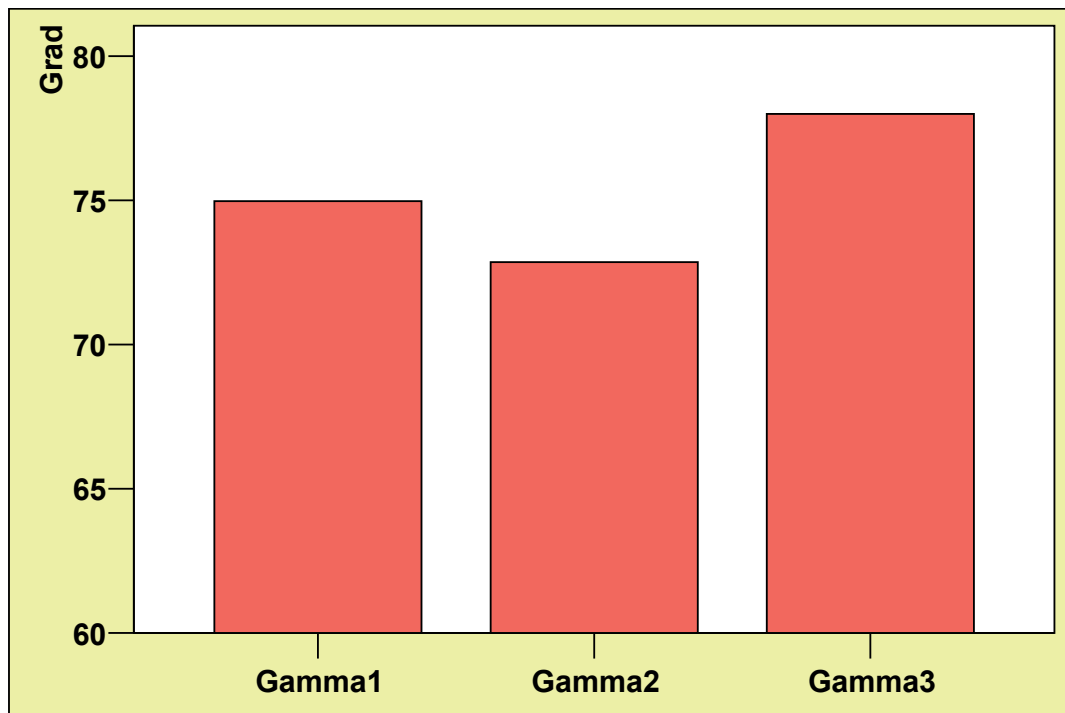


Abb. 4.1.1.d: Vergleich der β -Winkel der Messzyklen 1 bis 3

Der Vergleich zeigt für den zweiten Messzyklus einen um 1,7° kleineren Mittelwert. Der Median ist ebenfalls für den zweiten Messzyklus um den 2,4° niedriger. Im zweiten Messzyklus findet man ein um 0,2° erhöhtes Minimum, ein um 3,4° erniedrigtes Maximum.

Die Standardabweichung ist um 0,2° nach Mundöffnung erhöht.

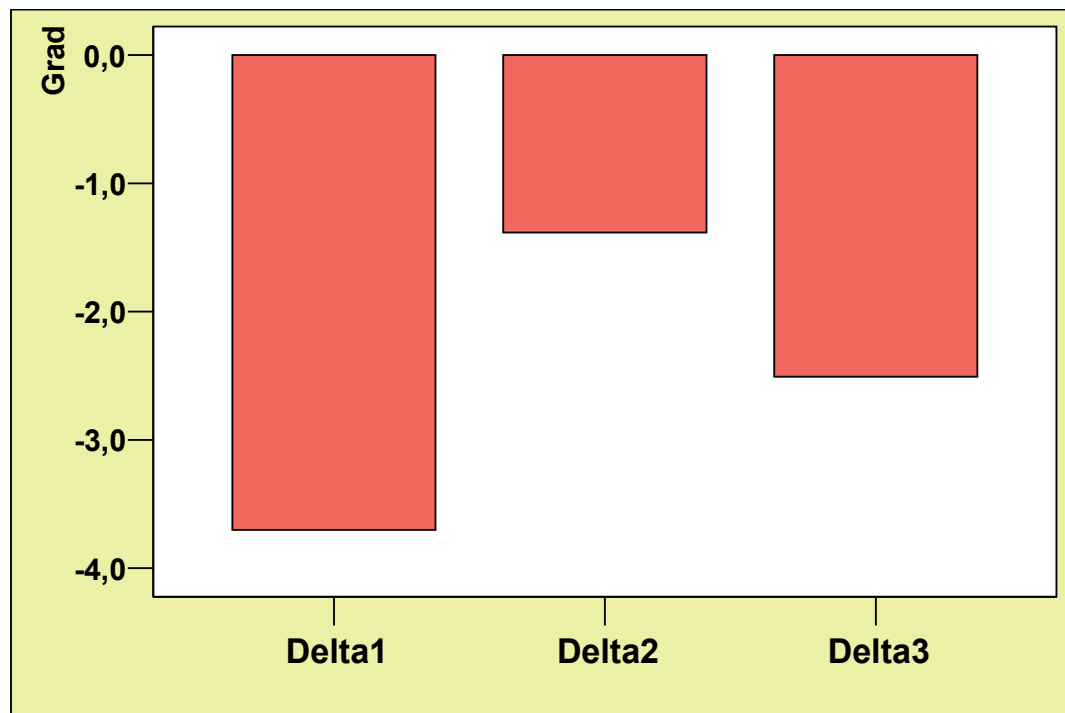
n = 135		γ_1	γ_2	γ_3
Mittelwert		74,924	72,828	77,996
Median		73,700	73,500	73,550
Standardabweichung		8,3429	6,4861	12,7323
Minimum		61,3	59,7	64,4
Maximum		103,6	90,6	119,3
Perzentile	25	68,300	69,000	69,150
	50	73,700	73,500	73,550
	75	79,300	77,600	83,475

Tab. 4.1.1.e: Deskriptive Statistik für γ Abb. 4.1.1.f: Vergleich der γ -Winkel der Messzyklen 1 bis 3

Der Mittelwert ist in der zweiten Messung um $2,1^\circ$ niedriger als in dem ersten Messzyklus. Der Median ist ebenfalls um $0,2^\circ$ erniedrigt, das Minimum um $1,6^\circ$ und das Maximum um $1,3^\circ$ kleiner.

Die Standardabweichung ist für diesen Winkel in dem zweiten Messzyklus um $1,8^\circ$ erniedrigt.

n = 135		$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$
Mittelwert		-3,701	-1,384	-2,507
Median		-1,800	,000	-2,100
Standardabweichung		10,5594	9,5174	7,8220
Minimum		-26,3	-27,2	-23,5
Maximum		16,0	20,6	13,3
Perzentile	25	-10,500	-9,100	-7,000
	50	-1,800	,000	-2,100
	75	3,100	5,100	3,000

Tab. 4.1.1.g: Deskriptive Statistik für δ Abb. 4.1.1.h: Vergleich der δ -Winkel der Messzyklen 1 bis 3

Die Seitwärtsbewegung verringert sich im zweiten Messzyklus im Mittel um 2,3°.

Die Standardabweichung ist im zweiten Messzyklus um 1,0° geringer.

4.1.2 Überprüfung der Verteilungsform (Kolmogorov-Smirnov-Test) und Beschreibung der anzuwendenden Statistik (abhängig von Normalverteilung oder paramedianer Verteilung)

Der Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft, ob die Messungen normalverteilt sind. Eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung besteht bei $p < 0,05$; in diesem Falle sind für die betreffende Variablen nichtparametrische Tests zu benutzen. Bei wiederholtem Messzyklus von Werten (z.B. vor und nach langer Mundöffnung) liegen abhängige Stichproben vor. In den Messreihen liegen somit überwiegend abhängige, normalverteilte Stichproben vor, so daß der t-Test für gepaarte Stichproben verwendet werden sollte.

		Alpha1
n		135
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	73,261
	Standardabweichung	10,6268
Extremste Differenzen	Absolut	,087
	Positiv	,087
	Negativ	-,064
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,014
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,255

		Beta1
n		135
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	72,399
	Standardabweichung	6,3728
Extremste Differenzen	Absolut	,089
	Positiv	,089
	Negativ	-,065
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,038
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,231

Tab. 4.1.2.a und b: Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest
a = die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b = aus den Daten berechnet.

		Gamma1
n		135
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	74,924
	Standardabweichung	8,3429
Extremste Differenzen	Absolut	,109
	Positiv	,109
	Negativ	-,071
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,262
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,083

Tab. 4.1.2.c: Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest
a = die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b = aus den Daten berechnet.

		Delta1
n		135
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	-3,701
	Standardabweichung	10,5594
Extremste Differenzen	Absolut	,097
	Positiv	,057
	Negativ	-,097
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,129
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,156

Tab. 4.1.2.d: Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest
a = die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b = aus den Daten berechnet.

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass alle Signifikanzen $< 0,05$ sind, also die Messungen normalverteilt sind.

4.1.3 1. Messzyklus versus 2. Messzyklus incl. Erhebung des Signifikanzniveaus

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Alpha1 Alpha2	2,0748	4,6986	,4044	1,2750	2,8746	,000

Tab. 4.1.3.a: t-Test bei gepaarten Stichproben Alpha 1 gegen Alpha2

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Beta1 - Beta2	1,6704	2,6684	,2297	1,2161	2,1246	,000

Tab. 4.1.3.b: t-Test bei gepaarten Stichproben Beta 1 gegen Beta 2

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Gamma1 Gamma2	2,0963	4,9766	,4283	1,2492	2,9434	,000

Tab. 4.1.3.c: t-Test bei gepaarten Stichproben Gamma 1 gegen Gamma 2

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		Sig. (2-seitig)
				Untere	Obere	
Delta1 Delta2	-2,3178	6,0283	,5188	-3,3439	-1,2916	,000

Tab. 4.1.3.d: t-Test bei gepaarten Stichproben Delta 1 gegen Delta 2

Der Vergleich des 1. und 2. Messzyklus mittels t-Test bei gepaarten Stichproben ist für alle 4 Winkel $p < 0,001$.

4.1.4 Korrelationen der Winkel α , β , χ sowie δ und Bestimmung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson

		Alpha1	Alpha2
Alpha1	Korrelation nach Pearson	1	,916(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000
	n	135	135
Alpha2	Korrelation nach Pearson	,916(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	
	n	135	135

Tab. 4.1.4.a: Korrelation zwischen α_1 und α_2

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

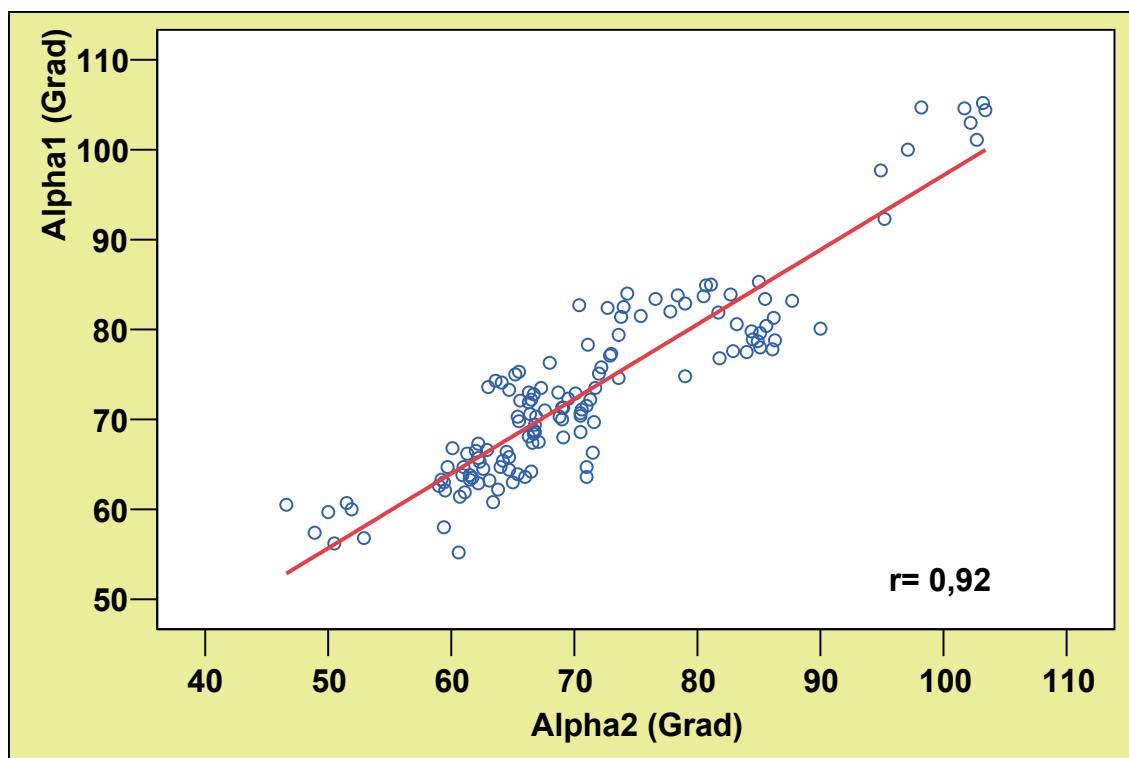


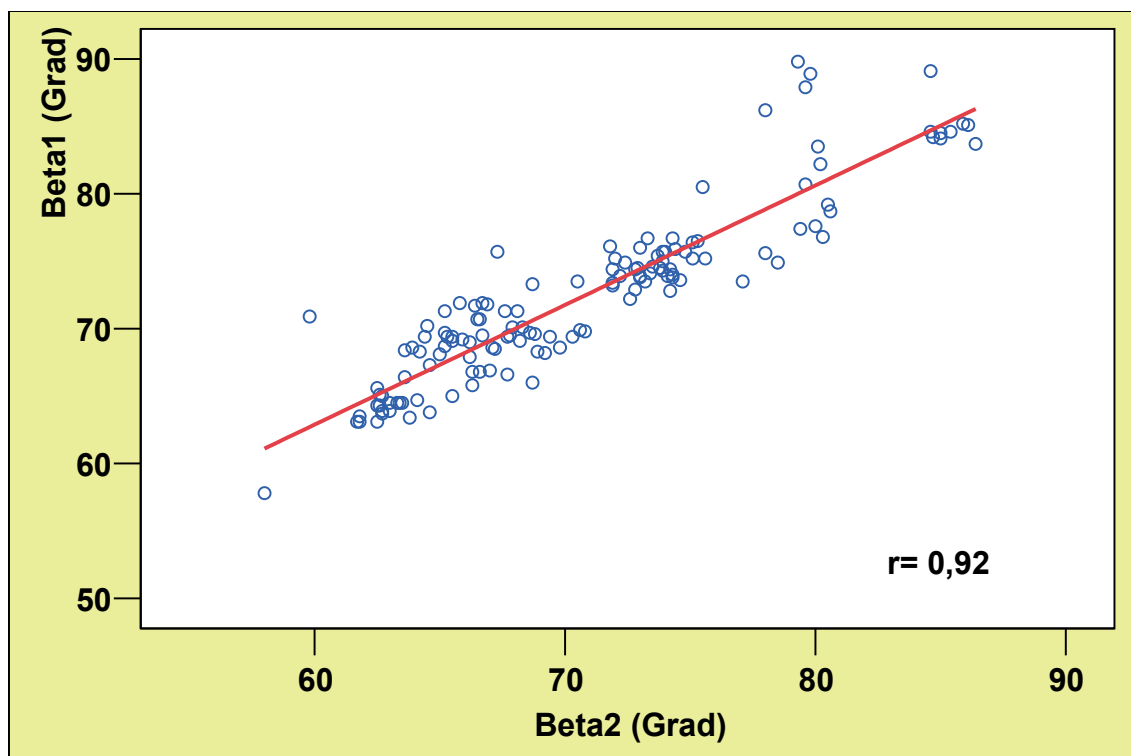
Abb. 4.1.4.b: Korrelation zwischen α_1 und α_2

Zwischen α_1 und α_2 besteht eine hochsignifikante Korrelation ($r = 0,92$; $p < 0,001$).

		Beta1	Beta2
Beta1	Korrelation nach Pearson	1	,916(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000
	n	135	135
Beta2	Korrelation nach Pearson	,916(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	
	n	135	135

Tab. 4.1.4.c: Korrelation zwischen β_1 und β_2

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

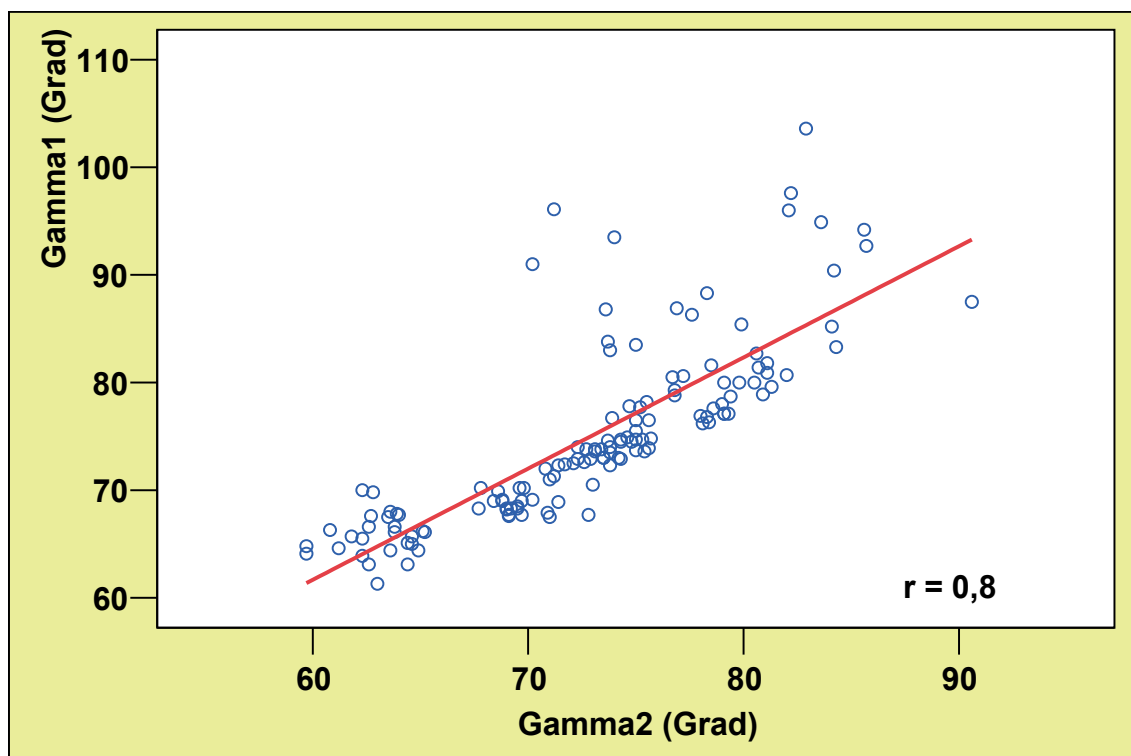
Abb. 4.1.4.d: Korrelation zwischen β_1 und β_2

Zwischen β_1 und β_2 besteht eine hochsignifikante Korrelation ($r = 0,92$; $p < 0,001$).

		Gamma1	Gamma2
Gamma1	Korrelation nach Pearson	1	,803(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000
	n	135	135
Gamma2	Korrelation nach Pearson	,803(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	
	n	135	135

Tab. 4.1.4.e: Korrelation zwischen χ_1 und χ_2

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

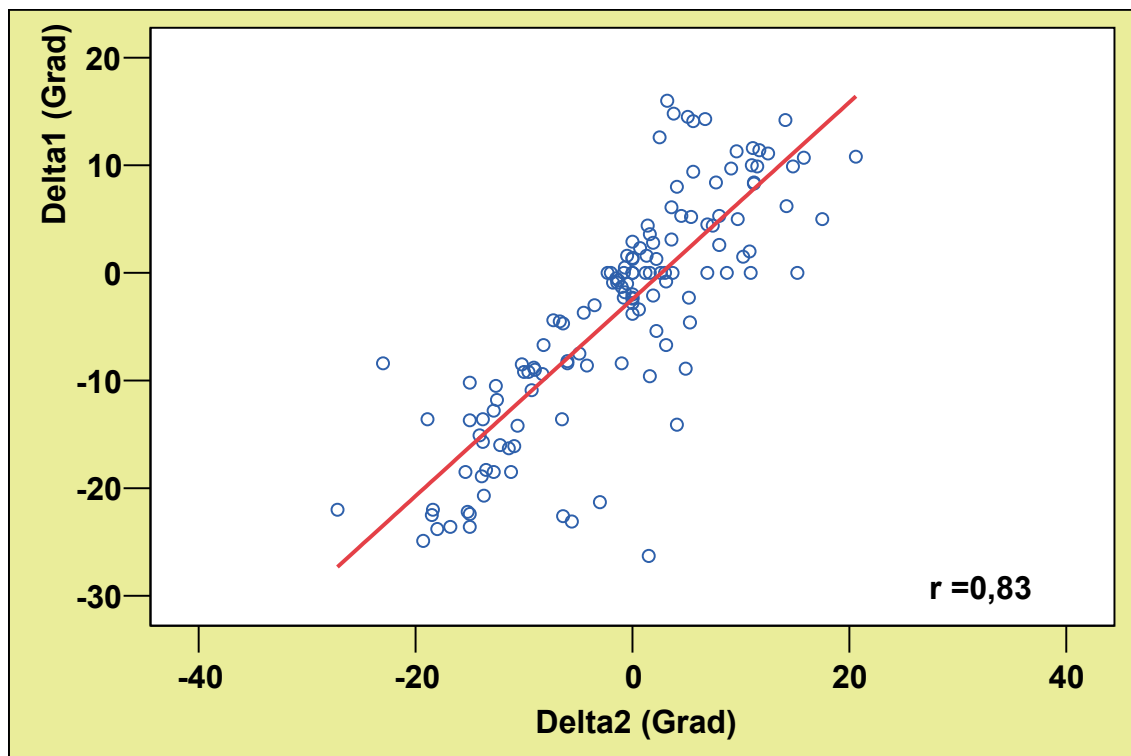
Abb. 4.1.4.f: Korrelation zwischen χ_1 und χ_2

Zwischen χ_1 und χ_2 besteht eine hochsignifikante Korrelation ($r=0,8$; $p<0,001$).

		Delta1	Delta2
Delta1	Korrelation nach Pearson	1	,825(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000
	n	135	135
Delta2	Korrelation nach Pearson	,825(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	
	n	135	135

Tab. 4.1.4.g: Korrelation zwischen $\delta 1$ und $\delta 2$

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Abb. 4.1.4.h: Korrelation zwischen $\delta 1$ und $\delta 2$

Zwischen $\delta 1$ und $\delta 2$ besteht eine hochsignifikante Korrelation ($r = 0,83$; $p < 0,001$).

4.2 Ergebnisse der Bewegungssimulationen im Artikulator

4.2.1 Deskriptive Statistik der Winkel α , β , χ sowie δ bezogen auf alle Messungen im Artikulator

n = 9		Art_Alpha1	Art_Alpha2	Art_Alpha3
Mittelwert		71,589	71,222	74,922
Median		71,800	71,300	74,400
Standardabweichung		,9905	1,0109	1,4898
Minimum		70,3	69,2	73,0
Maximum		73,3	72,4	77,0
Perzentile	25	70,700	70,650	73,700
	50	71,800	71,300	74,400
	75	72,300	72,100	76,500

Tab. 4.2.1.a: deskriptive Statistik des Artikulators für Winkel α

n = 9		Art_Beta1	Art_Beta2	Art_Beta3
Mittelwert		56,433	56,156	62,922
Median		56,600	56,200	63,400
Standardabweichung		,5050	,3468	,8090
Minimum		55,4	55,8	61,6
Maximum		56,9	56,6	63,7
Perzentile	25	56,050	55,800	62,150
	50	56,600	56,200	63,400
	75	56,850	56,550	63,600

Tab. 4.2.1.b: deskriptive Statistik des Artikulators für Winkel β

n = 9		Art_Gamma1	Art_Gamma2	Art_Gamma3
Mittelwert		64,822	65,200	62,900
Median		65,000	65,300	62,800
Standardabweichung		,8423	1,0050	,4062
Minimum		63,0	63,4	62,5
Maximum		65,7	66,8	63,6
Perzentile	25	64,450	64,500	62,550
	50	65,000	65,300	62,800
	75	65,350	65,950	63,250

Tab. 4.2.1.c: deskriptive Statistik des Artikulators für Winkel γ

n = 9		Art_Delta1	Art_Delta2	Art_Delta3
Mittelwert		8,933	8,133	,233
Median		8,900	8,100	,000
Standardabweichung		,5958	,9000	,4183
Minimum		7,8	7,1	,0
Maximum		9,8	9,4	1,2
Perzentile	25	8,600	7,250	,000
	50	8,900	8,100	,000
	75	9,400	9,000	,450

Tab. 4.2.1.d: deskriptive Statistik des Artikulators für Winkel δ

4.2.2 1. Messzyklus versus 2. Messzyklus (nur JMA-Sensoren wiederholt montiert)

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Art_Alpha1 Art_Alpha2	,3667	1,5796	,5265	-,8475	1,5808	,506

Tab. 4.2.2.a: t-Test für gepaarte Stichproben (Artikulator α_1 vs. α_2)

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Art_Beta1 - Art_Beta2	,2778	,5094	,1698	-,1137	,6693	,140

Tab. 4.2.2.b: t-Test für gepaarte Stichproben (Artikulator β_1 vs. β_2)

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Art_Gamma1 - Art_Gamma2	-,3778	,9615	,3205	-1,1168	,3613	,272

Tab. 4.2.2. c: t-Test für gepaarte Stichproben (Artikulator γ_1 vs. γ_2)

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Art_Delta1 - Art_Delta2	,8000	1,3647	,4549	-,2490	1,8490	,117

Tab. 4.2.2. d: t-Test für gepaarte Stichproben (Artikulator δ_1 vs. δ_2)

Beim Vergleich der 1. und 2. Messzyklus des Artikulators mit wiederholtem Montieren der JMA-Messsensorik lassen sich bei allen Winkeln keine signifikanten Unterschiede nachweisen!

4.2.3 1. Messzyklus versus 3. Messzyklus (wiederholtes Montieren und Justieren des gesamten JMA-Registriersystems)

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Art_Alpha1 Art_Alpha3	-3,3333	2,2555	,7518	-5,0671	-1,5996	,002

Tab. 4.2.3.a: t-Test für gepaarte Stichproben (Artikulator $\alpha 1$ vs. $\alpha 3$)

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Art_Beta1 Art_Beta3	-6,4889	,7785	,2595	-7,0873	-5,8905	0,000

Tab. 4.2.3.b: t-Test für gepaarte Stichproben (Artikulator $\beta 1$ vs. $\beta 3$)

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Art_Gamma1 Art_Gamma3	1,9222	1,0109	,3370	1,1452	2,6993	,000

Tab.4.2.3.c: t-Test für gepaarte Stichproben (Artikulator $\gamma 1$ vs. $\gamma 3$)

	Gepaarte Differenzen					
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		
				Untere	Obere	Sig. (2-seitig)
Art_Delta1 Art_Delta3	8,7000	,7399	,2466	8,1312	9,2688	,000

Tab. 4.2.3.d: t-Test für gepaarte Stichproben (Artikulator $\delta 1$ vs. $\delta 3$)

Zwischen dem 1. und 3. Messzyklus des Artikulatorexperimentes lassen sich bei allen Winkeln nach dem erneuten Montieren und Justieren des JMA-Messgerätes hochsignifikante Unterschiede ermitteln.

5 Diskussion

5.1 Auswahl des Probandenklientels

Es nahmen 15 männliche Probanden an dieser Studie teil.

Einflüsse geschlechtstypischer Abweichungen (Raadsherr et al. 1996, Ruf et al. 1994) wurden so vermieden. Dies hat jedoch den Nachteil, dass die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf weibliche Patienten zwar plausibel erscheint, aber durch weitere Tests nachgewiesen werden muss.

Die Probanden des Experimentes waren Soldaten der Bundeswehr und dienten am gleichen Standort, der Ernst-Moritz-Kaserne in Neustadt/Hessen.

Es nahmen nur Wehrpflichtige an der Studie teil, die die anstrengenden Monate der Grundausbildung bereits hinter sich hatten.

Weiterhin wurden nur Probanden ausgewählt, die nicht über funktionelle Beschwerden der Kopf- und Kaumuskulatur klagten. Dies wurde mit Hilfe der des Arbeitsbogens „Klinischer Funktionsstatus der Arbeitsgemeinschaft für Funktionslehre in der DGZMK“ dokumentiert.

Die Probanden waren kariesfrei, vollbezahnt. Weisheitszähne wurden hierbei nicht berücksichtigt, parodontologisch gesund sowie ohne prothetischen Zahnersatz.

5.2 JMA-Registriersystem der Firma Zebris

Für die Messung der Unterkieferbewegungen kam das JMA (Jaw Motion Analysis)-System der Firma Zebris zur Einsatz.

Das elektronische JMA-Registriersystem misst Unterkieferbewegungen berührungslos, gelenkfern und dreidimensional auf der Basis von Ultraschallimpulsen. Durch paraokklusal angebrachte Ultraschallsender im Bereich der unteren Inzisalpunkte sind uneingeschränkt zahngeführte Bewegungen darstellbar. Das geringe Eigengewicht des Gerätes minimiert die Bewegungsbeeinflussung. Das Gerät ist benutzerfreundlich und einfach handhabbar.

Das JMA-Gerät wird von zahlreichen Autoren zur Erfassung der Unterkieferbewegungen empfohlen (Kordaß, 1992, Hugger, 1998, 1999, 2000). Bei vorgegebenen Protrusionsbewegungen ergaben sich im Mittel für das JMA-

Gerät Abweichungen im Kondylarbereich von $0,4^\circ$ und im Frontstiftbereich von $0,5^\circ$. Bei Seitwärtsbewegungen lagen die Abweichungen im Kondylarbereich bei $0,8^\circ$.

Die Genauigkeit der Messungen wurde im Artikulatorexperiment durch wiederholten Ab- und Anbau der Sensoren bei ansonsten montierten Gerät, überprüft. Die Übereinstimmung der Ergebnisse war ohne signifikante Unterschiede gut.

Allerdings wurde während der Ausführung der Studie festgestellt, dass bei einem kompletten Ab- und Wiederaufbau des JMA-Gerätes am Probanden nur bedingt vergleichbare Ergebnisse gemessen werden konnten (siehe Diskussion zum Artikulatorexperiment).

Dieser Nachteil führte dazu, dass die Kontrollmessung nach 7 Tagen nicht in die Auswertung der Messergebnisse einbezogen werden konnte.

5.3 Versuchsaufbau

Bei jedem der 15 Probanden wurden drei Messzyklen durchgeführt. Jeder Messzyklus bestand aus den Bewegungen Protrusion, Laterotrusion rechts und links sowie Öffnungs- und Schließbewegung.

Zur ersten Messung erschien der Proband im erholten und entspannten Zustand.

Das JMA-Registriersystem wurde entsprechend den Herstellerangaben am Kopf des Patienten angebracht und justiert.

Die Justierung erfolgte über die Eingabe von Referenzpunkten. Zur Festlegung der Referenzebene wurden die Referenzpunkte linker und rechter Scharnierachsenpunkt, sowie der Infraorbitalpunkt am Kopf des Patienten abgegriffen und im Gerät notiert. Der linke und rechte Scharnierachsenpunkt wurden jeweils 1cm entfernt vom Tragus auf einer Linie zwischen dem bogenförmigen Randpunkt des Tragus und dem lateralen Augenwinkel gewählt. Der Infraorbitalpunkt wurde jeweils 2 cm abwärts des rechten medialen Augenwinkels auf der Linie zwischen Augenwinkel und äußerstem Punkt des rechten Nasenflügels eingemessen. Der Inzisalpunkt wurde in Schlussbisssituation zwischen den beiden mittleren oberen Frontzähnen abgegriffen.

Die Bestimmung der Scharnierachsenpunkte erfolgte mit Hilfe der kinematischen Achsenbestimmung.

Nach Fixierung des Gerätes wurde der Patient aufgefordert kraniale Grenzbewegungen auszuführen. Die Grenzbewegungen gelten als relativ stabil und die eingenommenen Extrempositionen als reproduzierbar (Solnit et al. 1989, Rugh et al. 1990). Vom Gerät wurden folgende aktive, vom Versuchsdurchführenden nicht manipulierte Bewegungen gemessen:

- Öffnungs- und Schließbewegung
- Exkursive und inkursive zahngeführte Lateralbewegung nach links,
- Exkursive und inkursive zahngeführte Lateralbewegung nach rechts,
- Exkursive und inkursive zahngeführte Protrusionsbewegung.

Nach der ersten Messung wurde am Probanden eine professionelle Zahnreinigung durchgeführt. Die Behandlungsdauer wurde auf 30 Minuten festgelegt. Die Behandlung und damit die Öffnung des Mundes wurde nur durch kurze Pausen, zum Spülen des Mundes etc., unterbrochen.

Eine Lokalanästhesie wurde nicht durchgeführt, um eine neuromuskuläre Beeinflussung der Unterkieferbewegungen zu vermeiden.

Während der Behandlung wurden die Sensorenkabel vom Gerät entfernt und für die zweite Messung wieder montiert. Dies ist, wie im Artikulatorexperiment überprüft, für die Vergleichbarkeit der Messungen unkritisch.

Der zweite Messzyklus erfolgte unmittelbar im Anschluss an die Zahnbehandlung. Der Proband führte die gleichen Bewegungsarten wie bei der ersten Messung aus. Danach wurde das Gerät entfernt.

Zum dritten Messzyklus erschien der Proband nach 7 Tage nach der ersten und zweiten Messung. Das Gerät wurde am Schädel neu montiert und justiert.

Der Vergleich zwischen dem 1. und 3. Messzyklus zeigte allerdings derart starke Diskrepanzen, dass es notwendig erschien, im Rahmen eines in-vitro Experiments den Einfluss einer wiederholten Montage und Justierung des JMA-Systems auf die Bewegungswiedergabe zu überprüfen.

5.4 Auswertungsverfahren

Die Schließbewegung wurde in der Sagittalebene, Laterotrusions- und Protrusionsbewegungen in der Horizontalebene betrachtet. Bei den Laterotrusions- und Protrusionsbewegungen wurden nur die Exkursionsbewegungen verwendet. Zur Bewertung der Bewegungen wurden die Winkel α , β , γ , und δ definiert. Die Auswertung wurde auf die Veränderung der o.g. Winkel in erster und zweiter Messung beschränkt, weil für die restaurativ zahnärztlichen und zahntechnischen Maßnahmen die Informationen über die Winkelveränderungen ausreichend sind (Clayton 1971).

Zur Auswertung wurde die integrierte Software des Gerätes benutzt. Das Verfahren liefert Ergebnisse mit einer Genauigkeit von 1%.

Zur standardisierten Winkelmessung wurden Punkte auf den Bewegungsbahnen festgelegt. Diese Punkte wurden im Nahbereich der Unterkiefer-Ausgangsposition festgelegt.

- Der Winkel α ergab sich zwischen der Strecke $P\alpha - 0$ Punkt und der x-Achse. Die Länge der Strecke $P\alpha - 0$ Punkt betrug $l=2\text{cm}$. In diesem Bereich führt der Unterkiefer bei der Öffnungs- und Schließbewegung eine Rotationsbewegung durch.
- Die Winkel β , γ ergaben sich zwischen den Strecken $P\beta - 0$ Punkt und der x-Achse, sowie $P\gamma - 0$ Punkt und der x-Achse. Die Länge der Strecken $P\beta - 0$ Punkt, $P\gamma - 0$ Punkt betrug $l=0,5\text{ cm}$.
- Der Winkel δ ergab sich zwischen der Strecke $P\delta - 0$ Punkt und x-Achse. Für $P\delta - 0$ Punkt war $l=0,5\text{cm}$.

Kleinere Strecken als die gewählten Abstände würden die Messgenauigkeit erheblich verschlechtern.

Die Betrachtung der Funktionswerte innerhalb des Nahbereiches wird in der Literatur begründet angesehen, da innerhalb dieses Bereiches mit großer Wahrscheinlichkeit funktionsrelevante Bewegungen bei Protrusion und Laterotrusion ablaufen (Hiltebrandt 1956, Dawson 1978, Holste 1980, Freesmeyer et al. 1987a, Gibbs et al. 1981, Alsawaf und Garlapo 1992, Reiber 1992, Hugger 2000).

Insgesamt ergaben sich für die 15 Probanden und pro Winkel 135 Messungen.

Pro Winkel und Messung wurden der Mittelwert, der Median, die Standardabweichung, Minimum und Maximum, sowie die Perzentile angegeben.

5.5 Ergebnisse der Probandenmessungen

Inzisal gemessene Veränderungen der Unterkieferbewegungsspuren führen zwangsläufig auch zu einem verändertem Bewegungsmuster und okklusalem Kompass im Seitenzahnbereich. (Gibbs et al, 1982).

Folgende Winkel wurden in die Auswertung der ersten und zweiten Messung einbezogen:

- α als Schließwinkel in der Sagittalebene,
- β , als Laterotrusionswinkel links in der Horizontalebene,
- γ , als Laterotrusionswinkel rechts in der Horizontalebene,
- δ , als Protrusionswinkel in der Horizontalebene

Für die genannten Winkel ergaben sich im Vergleich der ersten und zweiten Messung signifikante Unterschiede.

Der Winkel α war im Vergleich der Mittelwerte in der zweiten Messung um $2,1^\circ$ kleiner. Dies bedeutet, dass die Mandibula auf einer veränderten Kondylenbahn während der Schließbewegung bewegt wurde. Der Anteil der kondylären Translation hat abgenommen.

Es ist bekannt, dass das Kiefergelenk unter üblichen physiologischen Bedingungen ein druckbeanspruchtes Gelenk darstellt, dessen einzelne artikulierende Komponenten aufgrund der Hebelverhältnisse nach Größe und Richtung der Kontraktion der Kaumuskulatur unterschiedlich belastet werden (Standlee et al. 1981, Ito et al. 1986, Faulkner et al. 1987, Hylander 1992, Breul 1993, Hannam 1994, Koriath et al. 1994, Storey 1995, Hannam et al. 1997).

Die mit der Zahnbehandlung verbundene Mundöffnung stellt für das stomatognathe System eine untypische Belastung dar.

Durch die lange Mundöffnung vor der zweiten Messung werden die genannten Kaumuskeln außergewöhnlich beansprucht mit der Folge, dass ihre Kontraktionsfähigkeit temporär vermindert ist.

Regber, 2002 wies ebenso eine Übermüdung der Kaumuskulatur bei

isometrischer Beanspruchung nach circa 20 Minuten nach. Dies konnte durch Schmerzen in der Kaumuskulatur beim zeitlich begrenzten Kieferschluss festgestellt werden.

Der signifikant veränderte Winkel α lässt sich durch eine Hypofunktion der Mm. pterygoideus lateralis, masseter und pterygoidei medialis zu erklären.

Die Beanspruchung der Ligamente bei andauernder weiter Mundöffnung muss ebenso berücksichtigt werden. Hierbei kommt dem Ligamentum laterale als Führungselement der Kondylenbewegung besondere Bedeutung zu (Pröschel et al., 1993).

Die Mittelwerte der Winkel β und γ waren in der zweiten Messung kleiner.

Für den Winkel β ergaben sich in der zweiten Messung um $1,7^\circ$ kleinere Werte.

Für den Winkel γ wurden im Mittel $2,1^\circ$ kleinere Werte gemessen.

Dies bedeutet, dass sich der laterale Bewegungsspielraum der Mandibula signifikant verkleinert hat.

Der Unterschied von $0,4^\circ$ zwischen β und γ in der zweiten Messung wurde nicht untersucht, da dieser geringe Unterschied nicht als signifikant angesehen wird.

Eine plausible Erklärung der verminderten lateralen Bewegungsmöglichkeit wird in der verminderten Kontraktionskraft der Seitwärtsbeweger, M. temporalis, M. masseter und M. pterygoideus medialis, nach 30 minütiger Mundöffnung gesehen.

Eine Anteriorverschiebung des Diskus würde ebenso die laterale Bewegungsmöglichkeit der Mandibula vermindern, kann aber in der vorliegenden Studie für die Probanden ausgeschlossen werden.

Bei Protrusion verringerte sich die geringe Seitwärtsabweichung der Mandibula im Mittel und nach langer Mundöffnung um $1,6^\circ$.

Die signifikant veränderten Werte des Winkels δ in der zweiten Messung sind mit dem geringeren Einfluss der Seitwärtsbeweger M. temporalis, M. masseter und M. pterygoideus medialis zu begründen. Die Interpretation der Messergebnisse für die Winkel β und γ wird damit bestätigt.

Die größeren Streuwerte in der Standardabweichung der Winkel α , β und γ sind mit unsicherer Muskelführung nach langer Mundöffnung zu erklären.

Trotzdem sind die Unterschiede in den Bewegungen des Unterkiefers zwischen der ersten und zweiten Messung signifikant.

Es ist damit nachgewiesen, dass eine 30 minütige Mundöffnung zu signifikanten Veränderungen der kranialen Grenzbewegungen, der Mundschließbewegung, der exkursiv zahngeführten Laterotrusionsbewegung links und rechts sowie der exkursiv zahngeführten Protrusionsbewegung führt.

Die Messergebnisse des 3. Messzyklus (7 Tage nach der zahnärztlichen Behandlung) wurden wie oben erläutert verworfen.

5.6 Überprüfung der Verteilungsform und angewandten Statistik

Die statischen Auswertungen wurden mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 15.0 (SPSS Inc., U.S.A.) durchgeführt. Die Darstellung der kontinuierlichen Variablen erfolgte als Mittelwerte, während als Streumaße die Standardabweichungen gewählt wurden.

Die kontinuierlichen Variablen wurden mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft. Da alle der getesteten Variablen Normalverteilung aufwiesen (Kolmogorov-Smirnov-Test: $p > 0,05$), wurden daher durchgehend Tests für normalverteilte Stichproben herangezogen.

Beim Vergleich von 2 unabhängigen nicht normalverteilten Stichproben wäre der Mann-Whitney-U-Test als nicht parametrisches Verfahren durchgeführt worden.

Bei den Vergleichen der vorliegenden Stichproben lagen verbundene Stichproben vor; d.h., dass die Werte in einem direkten Zusammenhang standen. Dies ist normalerweise bei Messungen eines Kollektivs zu verschiedenen Zeitpunkten, z.B. vor und nach Therapie, der Fall. Bei unabhängigen und verbundenen Stichproben kommen unterschiedliche Testverfahren zum Einsatz.

Der Vergleich von 2 verbundenen, normalverteilten Stichproben erfolgte mittels des t- Tests für gepaarte Stichproben.

2 verbundene, nicht normalverteilte Stichproben würden durch den Wilcoxon-Test überprüft werden.

Die Korrelation zwischen 2 Parametern wurde durch den Korrelationskoeffizienten nach Pearson berechnet. Dabei wurde der Korrelationskoeffizient nach folgender Einteilung bewertet:

- $r < 0,2$ → sehr geringe Korrelation

- $r = 0,2 - 0,5 \rightarrow$ geringe Korrelation
- $r = 0,5 - 0,7 \rightarrow$ mittlere Korrelation
- $r = 0,7 - 0,9 \rightarrow$ hohe Korrelation
- $r = > 0,9 \rightarrow$ sehr hohe Korrelation

Bei allen durchgeführten Tests erfolgte eine zweiseitige Signifikanzüberprüfung, wobei für alle statistischen Tests ein p-Wert $< 0,05$ als statistisch signifikant angenommen wurde.

In den graphischen Darstellungen, die ebenfalls mit SPSS erstellt wurden, wurden zur Veranschaulichung der Daten Balkendiagrammen dargestellt. Zur Abbildung von Korrelationen wurden Streudiagrammen erstellt, in denen die Regressionsgeraden eingezeichnet wurden.

5.7 Korrelation

Im Vergleich der ersten und zweiten Messung wurden die Abhängigkeiten, die Korrelationen, der Winkel zueinander untersucht.

Zwischen allen Winkeln der ersten Messung und der zweiten Messung wurden hochsignifikante Abhängigkeiten nachgewiesen.

So gehen mit den Änderungen des Winkels α_1 gleichsinnig auch Änderungen des Winkels α_2 einher, von β_1 auch β_2 , von γ_1 auch γ_2 , von δ_1 auch δ_2 .

Diese Korrelationen zeigen, dass auch in der zweiten Messung, nach 30 minütiger Mundöffnung, die individuellen Bewegungen, wie Schließbewegung, zahngeführte Laterotrusion nach links, zahngeführte Laterotrusion nach rechts und zahngeführte Protrusion, den gleichen Abhängigkeiten wie in der ersten Messung unterliegen. Damit sind die Messergebnisse plausibel.

Die Veränderungen, verursacht durch die lange Mundöffnung, sind in einer insgesamt verminderten Bewegungsmöglichkeit der Mandibula zu sehen.

5.8 Simulation der JMA-Messung im Artikulator

Im Gegensatz zur Probandenmessung wurden die Artikulatorbewegungen durch einen zentralen Stützstift vorgegeben. Dieser wurde bei den Laterotrusions- und Protrusionsbewegungen durch Rillen geführt, die in eine Platte eingraviert waren.

Zwischen erster und zweiter Messung wurden, wie bei den Probandenmessungen, nur die Sensoren entfernt, der am Schädel fixierte Registrierbogen sowie der am Unterkiefer montierte paraokklusale Löffel blieben in ihrer Position unverändert. Zwischen zweiter und dritter Messung wurde das Gerät allerdings komplett entfernt und wieder montiert.

Das Gerät wurde vor der ersten Messung mit den nötigen Parametern eingestellt. Die Einstellungen blieben bei der zweiten Messung erhalten. Vor der dritten Messung wurde das Gerät erneut justiert.

In Auswertung der ersten und zweiten Messung ist festzustellen, dass der An- und Abbau der Sensoren keinen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Damit ist eine hinreichende Messgenauigkeit des Gerätes nachgewiesen.

Der An- und Abbau des Gerätes inklusive Neujustierung vor der dritten Messung hatte jedoch einen merkbaren Einfluss auf die Ergebnisse.

Es ergaben sich signifikante Unterschiede der Winkelwerte im Vergleich zwischen erster und dritter, als auch zwischen zweiter und dritter Messung.

Die Ergebnisse des in vitro Experimentes zeigen, dass nur bei absolut exakt gleicher Fixierung des Gerätes reproduzierbare Ergebnisse zu erwarten sind. Somit konnten nur die beiden ersten Messzyklen miteinander verglichen werden.

5.9 Schlussfolgerung und klinische Relevanz

Die Beanspruchung des stomatognathen Systems während einer 30 minütigen Zahnbehandlung verändert temporär die Schließbewegung, die exkursiv zahngeführte Laterotrusion nach links und rechts sowie die exkursiv zahngeführte Protrusion.

Diese inzisal gemessenen Veränderungen lassen sich auf die Dynamik der Seitenzähne übertragen, der okklusale Kompass ist somit verändert.

Die veränderten Werte der Winkel β und γ nach 30 minütiger Mundöffnung führen zu kleineren Werten des Bennettwinkels.

Nach weiter Mundöffnung während einer Zahnbehandlung könnten sich demnach steiler modellierte Okklusalfächen mit tiefer liegenden Fissuren ergeben. Mit muskulärer Entspannung und Normalisierung des individuellen

Bewegungsmusters könnte dann die Restauration okklusale Interferenzen bedingen.

Unmittelbar im Anschluss an jede Zahnbehandlung, welche die okklusalen Funktionsflächen verändert, ist eine Okklusionskontrolle und gegebenenfalls – korrektur erforderlich. Dabei wird eine stabile maximale Interkuspidation, als auch das interferenzfreie Gleiten des Unterkiefers in der Laterotrusion und Protrusion angestrebt. Das unmittelbar nach einer Zahnbehandlung veränderte Bewegungsmuster des Unterkiefers kann jedoch zu ungenauen Ergebnissen bei der Okklusionkontrolle und –korrektur führen, so dass okklusale Störungen unmittelbar nach der Behandlung unerkannt bleiben.

Es wird daher empfohlen in einem zweiten Behandlungstermin eine erneute Okklusionskontrolle und ggf. -korrektur durchzuführen.

Diese Okklusionskontrolle sollte hierbei zu Beginn einer weiteren Zahnbehandlung erfolgen, um den negativen Einfluss der andauernden Mundöffnung zu vermeiden.

Die Verwendung der personenspezifischen Funktionswerte für eine optimierte Kauflächengestaltung in einem Artikulator, erscheint somit zweifelhaft, wenn diese Werte unmittelbar nach einer längeren Zahnbehandlung gemessen werden. Diese Messung der Funktionswerte sollte zu Beginn der Zahnbehandlung oder in einem ausreichenden zeitlichen Abstand erfolgen.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende klinisch-experimentelle Studie befasst sich mit dem möglichen Einfluss von länger andauernder weite Mundöffnung, wie sie typischerweise bei Zahnbehandlungen auftritt, auf das individuelle Bewegungsmuster des Unterkiefers.

Es nahmen 15 männliche zahn- und kaufunktionsgesunde Probanden im Alter von 19 bis 26 Jahre an der Studie teil. Insgesamt wurden für jeden Probanden 2 Messzyklen ausgewertet. Der erste Messzyklus erfolgte im entspannten Zustand unmittelbar vor der ca. 30 Minuten andauernden weiten Mundöffnung statt. Der zweite Messzyklus wurde sofort im Anschluss an die Mundöffnungsphase erfasst. Folgende Bewegungen wurden mit Hilfe des computergestützten JMA-Registriersystem der Fa. Zebis dokumentiert:

Schließbewegung aus weite Mundöffnung, zahngeführte exkursive Protrusion und Laterotrusion nach rechts und links.

Mögliche Abweichungen der Bewegungen wurden in der Horizontal- und Sagittalebene mit den Winkeln α (für Adduktion), β (Links-Laterotrusion), γ (Rechts-Laterotrusion) und δ (Protrusion) beschrieben.

Die Vergleich der beiden Messzyklen ergab, dass sich unter andauernder Mundöffnung

1. der Schließwinkel α um $2,1^\circ$,
2. die Laterotrusionswinkel β um $1,7^\circ$ und γ um $2,1^\circ$ sowie
3. der Protrusionswinkel δ um $1,6^\circ$ signifikant reduzieren.

Aus den veränderten Bewegungsspuren resultiert zwangsläufig auch eine zumindest temporäre Veränderung der okklusalen Kompasse.

Die Resultate von Okklusionskontrollen, welche unmittelbar im Anschluss an eine länger dauernde Zahnbehandlung durchgeführt wird, sollten daher mit Zurückhaltung interpretiert werden. Scheinbare okklusale Interferenzen könnten die Folge des durch Mundöffnung veränderten Bewegungsmusters der Mandibula sein. Dieser Umstand ist auch beim selektiven okklusalen Einschleifen sowie bei der zentrischen Kieferrelationsbestimmung und protrusiven und laterotrusiven Checkbissen zur Programmierung des Artikulators zu berücksichtigen.

6. Summary

The following clinical experimental study addresses a possible influence of long-lasting wide opening of the mouth, as usual during dental treatment, to the individual moving pattern of the lower jaw,

Fifteen male test persons with healthy dental conditions and chewing functions, aged between 19 and 26, participated in this test series. A total of two measuring cycles have been evaluated for every proband. The first measuring cycle has been carried out in a relaxed condition directly before the approx. 30 minutes lasting wide mouth opening. The second measuring cycle has been recorded straight after the mouth opening phase. The following movements have been documented with the computer aided JMA-Registration System of the Zebris company: Closing motion from wide mouth opening, dental leaded excursive protrusion and laterotrusion to the right and left.

Possible variations of movements have been specified in horizontal and sagittal plane with the angles α (for adduction), β (left-laterotrusion), γ (right-laterotrusion) and δ (protrusion).

The comparison of both measuring cycles resulted under long-lasting mouth opening in a significant reduction of:

1. the closing angle α by $2,1^\circ$,
2. the laterotrusion angle β by $1,7^\circ$ and γ by 2.1° as well as
3. the protrusion angle δ by $1,6^\circ$.

The changed moving traces result inevitably in an at least temporary alteration of the occlusal compasses.

The results of occlusal controls, which are carried out directly after a long-lasting dental treatment, should be therefore interpreted with reservation. Apparent occlusal interferences could be the implication of a changed moving pattern of the mandible through mouth opening. This circumstance should be considered also for the selective occlusal grinding off as well as the centric maxillomandibular relationship record and the protrusive and laterotrusive checkbite for the programming of the articulator.

7 Literatur

1. Alsawaf, M.M., Garlapo, D.A.:
Influence of tooth contact on the path of condylar movements.
J Prosthet Dent 67, 394 (1992)
2. Berlin, R., Dessner, L.:
Bruxism and chronic headache.
Odont Tidsk 68, 261 (1960)
3. Blackwood, H. J. J.:
Arthritis of the Mandibular Joint.
Brit Dent J 115, 317-324 (1963)
4. Blanksma, N. G., van Eijden, T. M.:
Electromyographic heterogeneity in the human temporalis and masseter
muscles during static biting, open/close excursions, and chewing.
J Dent Res 74, 1318-1327 (1995)
5. Böhm, A., Rammelsberg, P., Pho Duc, J.-M., May, H.-C., Pospiech, P., Gernet,
W.:
Elektronische Kondylenpositionsanalyse bei Gesunden und Patienten mit
anteriöser Diskusverlagerung im Kiefergelenk.
Dtsch Zahnärztl Z 50, 553-557 (1995)
6. Borromeo, G. L., Suvinen, T. I., Reade, P. C.:
A comparison of the effects of group function and canine guidance
interocclusal
device on masseter muscle electromyographic activity in normal
subjects.
J Prosthet Dent 74, 174-180 (1995)
7. Breul, R. :
Die stellungsabhängige Beanspruchung des Kiefergelenks des Menschen –
eine biomechanische Analyse.
In: Benner, K.U., Fanghänel, J., Kowalewski, R., Kubein-Meesenburg, D.,
Randzio, J., (Hrsg.): Morphology, Funktion und Klinik des Kiefergelenks.
Quintessenz, Berlin (1993), S.111

-
8. Budtz-Jorgensen, E.:
A three-month study in monkeys of occlusal dysfunction and stress.
J Dent Res 88, 171-180 (1980)
 9. Bumann, A., Lotzmann, U.:
Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien.
Thieme, Stuttgart (2000)
 10. Byers, M. R., Dong, W. K.:
Comparison of trigeminal receptor location and structure in the periodontal
ligament of different types of teeth from the rat, cat, and monkey.
J Comp Neurol 279, 117-127 (1989)
 11. Clark, R. K. F., Wyke, B. D.:
Contributions of temporomandibular articular mechanoreceptors to the control
of mandibular posture: an experimental study.
J Dent 2, 121 (1974)
 12. Clayton, J.A.:
Border positions and restoring occlusion.
Dent Clin North Am 15, 525 (1971)
 13. Dawson, P.E.:
Grundzüge der Okklusion - Auswertung, Diagnose und Behandlung okklusaler
Problemfälle.
Zahnärztlich-medizinisches Schrifttum, München (1978)
 14. Drücke, W., Klemm, B.:
Kiefergelenk und Okklusion.
Quintessenz, Berlin (1980)
 15. Eriksson, P. O., Eriksson, A., Ringqvist, M., Thornell, L. E.:
Special histochemical muscle-fibre characteristics of the human lateral
pterygoid muscle.
Arch Oral Biol 26, 495-507 (1981)
Erikson, P.O., Erikson, A., Ringqvist, M., Thornell, L.E.:
Histochemical fibre composition of the human digastric muscle
Arch Oral Biol 27, 207-215 (1982)

-
- 16.** Faulkner, M.G., Hatcher, D.C., Hay, A.:
A three-dimensional investigation of temporomandibular joint loading.
Arch Oral Biol 20, 997 (1987)
 - 17.** Freesmeyer, W. B.:
Funktionelle Befunde im orofacialen System und deren Wechselwirkung.
Habilschr., Tübingen (1984)
 - 18.** Freesmeyer, W.B., Luckenbach, A.:
ECR-System-Analyse der Zusammenhänge zwischen anteriorer und
posteriorer Führung.
Dtsch Zahnärztl Z 42, 17 (1987)
 - 19.** Freesmeyer, W. B.:
Parafunktion und Kopfschmerz.
Dtsch Zahnärztl Z 47, 722 (1992)
 - 20.** Gaa, H. U.:
Physikalische und mikroanatomische Untersuchungen zur Strukturbiologie des
Discus articularis.
Med Diss, Tübingen (1988)
 - 21.** Garnick, J. J., Ramfjord, S. P.:
Rest Position.
J Prosthet Dent 12, 895 (1962)
 - 22.** Gernet, W.:
Funktionsanalysen im stomathognathen System.
Carl Hanser, München (1982)
 - 23.** Gibbs, C.H., Lundeen, H.C., Mahan, P.E., Fujimoto, J.:
Chewing movements in relation to border movements at the first molar.
J Prosthet Dent 46, 308 (1981)
 - 24.** Gibbs, C.H., Lundeen, H.C.:
Jaw movements and forces during chewing and swallowing and their clinical
significance.
In: Gardner, A.F. (Hrsg.): Advances in Occlusion.
John Wight, Boston (1982), S.9

-
- 25.** Gibbs, C. H., Mahan, P. E., Wilkinson, T. M., Mauderli, A.:
EMG activity of the superior belly of the lateral pterygoid muscle in relation to other jaw muscles.
J Prosthet Dent 51, 691-702 (1984)
- 26.** Göhring, T. N., Ahlers, M. O., Jakstat, H. A., Tioka, A., Jüde, H. D., Toussaint, R., Liebs, T., Rehder, U.:
Kranio-mandibuläre Funktionsstörungen bei Hamburger Bauarbeitern.
Dtsch Zahnärztl Z 52, 280-282 (1997)
- 27.** Graber, G.:
Gnathologie. Zahntechnik.
Einsiedeln (1981)
- 28.** Graber, G.:
Disordini psicomatici nel sistema stomatonatico (psychosomatic disorders in the stomatognathic system).
Giornale Stomatologia Ortognatodonzia III suppl 31 (1984)
- 29.** Graber, G.:
The influence of psychoemotional aspects on the cybernetics of occlusion.
J Gnathol 3, 13-27 (1984)
- 30.** Graber, G.:
Was leistet die funktionelle Therapie und wo findet sie ihre Grenzen?.
Dtsch Zahnärztl Z 40, 165 (1985)
- 31.** Graber, G.:
Der Einfluß von Psyche und Stress bei dysfunktionsbedingten Erkrankungen des stomatognathen Systems.
In: Koeck, B., Funktionsstörungen des Kauorgans.
Praxis der Zahnheilkunde 8, Urban und Schwarzenberg (1995)
- 32.** Granger, E. R.:
Occlusion in temporomandibular joint pain.
J Am Dent A 56, 659-664 (1958)
- 33.** Griffin, C. J., Watson, J. E., Marshall, W. G.:
Electromyographic analysis of the effects of treatment in patients with the temporomandibular joint syndrome.
Monogr Oral Sci 4, 188 (1975)

-
- 34.** Hannam, A.G.:
Musculoskeletal biomechanics in the human jaw.
In: Zarb, G.A., Carlsson, G.E., Sessle, B.J., Mohl, N.D. (eds.):
Temporomandibular joint and masticatory muscle disorders, 2nd ed.
Munksgaard, Kopenhagen (1994), S. 67
- 35.** Hannam, A.G., Langenbach, G.E.J., Peck, C.C.:
Computer simulations of jaw biomechanics.
In: Mc Neill, C. (ed.): Science and practice of occlusion.
Quintessence, Chicago (1997), S. 187
- 36.** Hansson, T.:
Der Einfluß der Okklusion auf das Kiefergelenk, in Solberg, W. K., Clark, G.T.,
Das Kiefergelenk, Diagnostik und Therapie.
Quintessenz, Berlin (1983)
- 37.** Harris, R., Griffin, C. J.:
Neuromuscular mechanisms and the masticatory apparatus.
Monogr Oral Sci 4, 45 (1975)
- 38.** Harris, R., Griffin, C. J.:
Innervation of the human periodontium IV, Fine structure of the complex
mechanoreceptors and free nerve endings.
Aust Dent J 19, 326-331 (1974)
- 39.** Helfgen, E-H., Jung, L., Grüner, M., Koeck, B.:
Zur Ätiologie keilförmiger Defekte.
Dtsch Zahnärztl Z 56, 273-276 (2001)
- 40.** Hesse, J. R., Hansson, T. L.:
Factors influencing joint mobility in general and particular respect of the
craniomandibular articulation: a literature review.
J Craniomandib Disord 2, 19-28 (1988)
- 41.** Hiatt, W. H.:
Incomplete crown-root fractures in pulpal-periodontal disease.
J Periodont 44, 369-379 (1973)
- 42.** Hildebrandt, C.:
Die Gestaltung der totalen Prothese.
Hüthig, Heidelberg (1956)

-
- 43.** Hoffmann, M.:
Die prothetische Versorgung des wenig bezahnten und des zahnlosen Patienten - eine Standortbestimmung.
Dtsch Zahnärztl Z 45, 525-537 (1990)
- 44.** Holste, T.:
Untersuchungen über den Bennett-Winkel.
Dtsch Zahnärztl Z 35, 315 (1980)
- 45.** Hugger, A., Kordaß, B., Edinger, D., Berntien, U., Stüttgen, U.:
Bewegungsdarstellung im Okklusalbereich bei berührungslos messenden Registriersystemen.
Dtsch Zahnärztl Z 53, 535-538 (1998)
- 46.** Hugger, A., Bölöni, E., Berntien, U., Stüttgen, U.:
Adjustierung mit Hilfe elektronischer Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen.
Universität Düsseldorf (1999)
- 47.** Hugger, A.:
Gelenknahe elektronische Erfassung der Unterkieferfunktion und ihre Umsetzung in den Artikulator.
Quintessenz, Berlin (2000)
- 48.** Hutchinson, R. Azrin, N., Hunt, G.:
Attack produced by intermittent reinforcement of concurrent operant response.
J Comp Physiol 11, 489 (1968)
- 49.** Hylander, W.L. :
Functional anatomy. In: Sarnat, B.G., Laskin, D.M. (eds.): The temporomandibular joint – a biological basis for clinical practice.
4th ed., Saunders, Philadelphia (1992), S. 60
- 50.** Ito, T., Gibbs, C.H., Marguelles-Bonnet, R., Lupkiewicz, S.M., Young, H.M., Lundeen, H.C., Mahan, P.E.:
Loading on the temporomandibular joints with five occlusal conditions.
J Prosthet Dent 56, 478 (1986)

-
- 51. Jäger, K.:**
Die Rolle von Stress und konstruktiven Faktoren in der kybernetischen Kaukraftsteuerung.
Med Habil, Basel (1990)
- 52. Jäger, K., Graber, G.:**
Epidemiologische Untersuchungen über Ätiologiefaktoren dysfunktioneller Erkrankungen im stomatognathen System.
Dtsch Zahnärztl Z 43, 17-23 (1988)
- 53. Jäger, K., Graber, G., Schrutt, L.:**
Aufbau und Test einer Meßkette zur Kaukraftmessung.
Schweiz Monatszeitschr Zahnmed 99, 670 (1989)
- 54. Jäger, K., Schneider, M.:**
Wie beeinflussen Okklusionsstörungen und Stress die kybernetische Kaukraftsteuerung.
Schweiz Monatszeitschr Zahnmed 102, 5, 536 (1992)
- 55. Juniper, R. P.:**
Electrography of the two heads of external pterygoid muscle via the intraoral route.
Electromyogr Clin Neurophysiol 23, 21-33 (1983)
- 56. Karolyi, M.:**
Beobachtungen über Pyorrhea Alveolaris.
Österr-Ungar Vrtljschr Zahnh 17, 279-283 (1901)
- 57. Keß, K., Witt, E.:**
Untersuchung zur Bewertung elektronisch-instrumenteller Funktionsbefunde.
Dtsch Zahnärztl Z 45, 154-156 (1990)
- 58. Kielholz, P., Pöldinger, W., Adams, C.:**
Die larvierte Depression.
Dtsch Ärzteverlag, Köln (1981)
- 59. Klineberg, I. J., Greenfield, B. E., Wyke, B. D.:**
Contributions to the reflex control of mastication from mechanoreceptors in the temporomandibular joint capsule.
Dent Practitioner Dent Rec 21, 73 (1970)

-
- 60.** Kordaß, B.:
Dynamische Bildgebung zur Darstellung der Kiefergelenkfunktion.
Zahnärztl Mit 2, 10-20 (1992)
- 61.** Kordaß, B.:
Dyskoordination von Translation und Rotation.
Dtsch Zahnärztl Z 50, 491-495 (1995)
- 62.** Kordaß, B., Hugger, A., Assheuer, J., Stüttgen, U.:
Die Stabilität des Diskus-Kondylus-Komplexes.
Dtsch Zahnärztl Z 49, 738-742 (1994)
- 63.** Koriath, T.W.P., Hannam, A.G.:
Mandibular forces during simulated tooth clenching.
J Orofacial Pain 8, 178 (1994)
- 64.** Krogh-Poulsen, W. G.:
Orthofunktion und Pathofunktion des mastikatorischen Systems unter
Berücksichtigung der beteiligten Muskelgruppen.
In: Drücke, W., Klemm, B., Kiefergelenk und Okklusion, 13-32,
Quintessenz, Berlin (1980)
- 65.** Krogh-Poulsen, W.:
Von der Theorie der Okklusion zur oralen Physiologie.
Quintessenz, Berlin (1983)
- 66.** Krogh-Poulsen, W.:
Die Bedeutung der Okklusion für Funktion und Dysfunktion des Kiefers.
Quintessenz, Berlin (1983)
- 67.** Krogh-Poulsen, W. G., Olsson, A.:
Management of the occlusion of the teeth.
In: Schwartz, L., und Chayes, C. M., Facial Pain and Mandibular Dysfunction.
Saunders, Philadelphia (1968)
- 68.** Le Bell, Y., Jämsä, T., Korri, S., Nieme, P.M., Alanen, P.:
Effect of artificial occlusal interferences depends on previous experience of
temporomandibular disorders.
Acta Odontol Scand 60, 219-222 (2002),

-
- 69.** Lee, R. L.:
Jaw movements engraved in solid plastic for articulator controls.
Part I: recording apparatus.
J Prosth Dent 22, 209-224, (1969)
- 70.** Lehmann, K. M., Hellwig, E.:
Einführung in die restaurative Zahnheilkunde.
Urban&Schwarzenberg, München (1993)
- 71.** Leija, W., Hilbe, M., Stainer, M., Kulmer, S.:
Nicht-kariöse zervikale Läsionen in Relation zum Okklusionstypus und zur
Neigung der individuellen Führungselemente.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 412-414 (1999)
- 72.** Lindauer, S. J, Gay, T., Rendell, J.:
Effect of jaw opening on masticatory muscle EMG-force characteristics.
J Dent Res 72, 51-55 (1993)
- 73.** Lindblom, G.:
Disorders of the temporomandibular joint.
Acta Odont Scandinav 11, 61 (1953)
- 74.** Linden, R. W., Millar, B. J., Halata, Z.:
A comparative physiological and morphological study of periodontal ligament
mechanoreceptors represented in the trigeminal ganglion and the
mesencephalic nucleus of the cat.
Anat Embryol (Berl) 190, 127-135 (1994)
- 75.** Lindhe, J. Svanberg, G.:
Influence of trauma from occlusion on progression of experimental
periodontitis in the Beagle dog.
J Clin Periodont 1, 3-14 (1974)
- 76.** Lotzmann, U.:
Prinzipien der Okklusion,
Neuer Merkur, München (1992)
- 77.** Lubinsky, S.:
Die Unterkieferbewegungen und die Herstellung naturgetreuer Artikulation in
der Zahnprothetik.
Meuser, Berlin (1924)

-
- 78.** Lückcrath, W.:
Die Bennettbewegung.
Dtsch Zahnärztl Z 46, 189-193 (1991)
- 79.** Lundeen, W. R.:
Kondylare Grenzbewegung- ihre Rolle bei der Einstellung von Artikulatoren
und restaurativen Methoden.
Quintessenz, Berlin (1982)
- 80.** Mac Donald, J. W., Hannam, A. G.:
Relationship between occlusal contacts and jaw-closing muscle activity during
tooth clenching: Part I.
J Prosthet Dent 52, 718-728 (1984)
- 81.** Magnusson, T.:
Mandibular Dysfunction and Reccurent Headaches.
Thesis University of Göteborg (1981)
- 82.** Manns, A., Melendez, T., Schulte, W., Manns, C., Cumsille, M. A., Wagner, U.:
Exzentrische Schliffflächen: Der Einfluß des Einschleifens auf die
Unterkieferelatoren im Elektromyogramm,
Dtsch Zahnärztl Z 50, 711-716 (1995)
- 83.** Manns, A., Chan, C., Miralles, R.:
Influence of group function and canine guidance on electromyographic activity
of elevator muscles.
J Prosthet Dent 57, 494-501 (1987)
- 84.** Manns, A., Miralles, R., Palazzi, C.:
EMG, bite force, and elongation of the masseter muscle under isometric
voluntary contractions and variations of vertical dimension.
J Prosthet Dent 42, 674-682 (1979)
- 85.** Mao, J., Stein, R. B., Osborn, J. W.:
The size and distribution of fiber types in jaw muscles : a review.
J Craniomandib Discord 6, 192-201 (1992)
- 86.** Markowitz, H. A., Gerry, R. G.:
Temporomandibular joint. Disease.
Oral Surg 2, 1309 (1949)

-
- 87.** Marxkors, R.:
Ursachen, Auswirkungen und Behebungen von Misserfolgen.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 600-610 (1999)
- 88.** McCall, J. O.:
Traumatic occlusion.
J Am Dent A 26, 519 (1939)
- 89.** McGlynn, F. D., Bichajian, Ch., Tira, D. E., Lundeen, H. C., Mahan, P. E.,
Nicholas, B. V.:
The effect of experimental stress and experimental occlusal interference on
masseteric EMG activity.
J Craniomand Disord, Facial Pain 3, 87-92 (1989)
- 90.** Mengel, M. K., Jyvasjarvi, E., Kniffki, K. D.:
Identification and characterization of afferent periodontal A delta fibres in the
cat.
J Physiol Lond 464, 393-405 (1993)
- 91.** Molin, C.:
An electromyographic study of the function of the lateral pterygoid muscle.
Sven Tandlak Tidskr 66, 203-208 (1973)
- 92.** Møller, E.:
Neuromuskuläre Aspekte der normalen und gestörten Funktion des
mastikatorischen Systems.
In: Drücke, W., Klemm, B., Kiefergelenk und Okklusion.
Quintessenz, Berlin (1980)
- 93.** Møller, E., Sheik-El-Eslam, A., Lous, I.:
Deliberate relaxation of the temporal and masseter muscles in subjects with
functional disorders of the chewing apparatus.
Scand J Dent Res 79, 478 (1971)
- 94.** Monica, W. S.:
Headaches caused by bruxism.
Ann Otolaryngol 68, 1159 (1959)

-
- 95.** Morimoto, T., Abekura, H., Tokuyama, H. Hamada, T.:
Alteration in the bite force and EMG activity with changes in the vertical dimension of edentulous subjects.
J Oral Rehabil 23, 336-341 (1996)
- 96.** Motsch, A.:
Das sogenannte Costen-Syndrom, Neue Erkenntnisse.
Funktionsbedingte Kiefergelenkerkrankungen und ihre Behandlung
Erkennen- Diagnostizieren-Behandeln- Die Vorbehandlung des
funktionsgestörten Kauorgans mit Schienen.
In: Drücke, W., Klemm, B., Kiefergelenk und Okklusion.
Quintessenz, Berlin (1980)
- 97.** Mühlbrandt, L.:
Grundzüge der Neurophysiologie des Kauorgans.
Dtsch Zahnärztl Z 31, 282 (1976)
- 98.** Nägerl, H., Kubein-Meesenburg, D., Fanghänel, J., Berndt, A.:
Retrusive Gelenkfunktion und Stabilitätsbereich der Mandibula.
Dtsch Zahnärztl Z 45, 51-53 (1990)
- 99.** Nicolakis, P., Piehslinger, E., Nicolakis, M., Vachuda, M., Fialka-Moser, V.:
Zusammenhänge zwischen Haltungssasymmetrien und dem Ruhetonus des
M. masseter.
Dtsch Zahnärztl Z 53, 608-611 (1998)
- 100.** Niedermeier, W.:
Okklusion und parodontale Reaktion.
Dtsch Zahnärztl Z 48, 354-361 (1993)
- 101.** Osborn, J. W.:
The temporomandibular ligament and the articular eminence as constraints
during jaw opening.
J Oral Rehabil 16, 323-333 (1989)
- 102.** Öberg, T., Carlsson, G. E., Fajers, C. M.:
the temporomandibular joint. A morphologic study on a human autopsy
material.
Acta Odontol Scand 29, 349-384 (1971)

-
- 103.** Pamijer, J. H., Glickman, I., Roeber, F. W.:
Intraoral occlusal telemetry, Tooth contact in chewing, swallowing and bruxism.
J Periodont 40, 253 (1969)
- 104.** Peroz, I.:
Differenzierung temporomandibulärer Funktionsstörungen anhand anamnestischer und klinischer Befunde.
Dtsch Zahnärztl Z 52, 299-304 (1997)
- 105.** Peroz, I., Hörhold, M., Bloeks, M.:
Auswirkungen standardisierter Belastungssituationen auf Körperreaktionen bei Knirschern.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 345-349 (1999)
- 106.** Peroz, I., Kirchner, K., Lange, K.-P.:
Kraniomandibuläre Dysfunktionen bei Tinnituspatienten.
Dtsch Zahnärztl Z 55, 694-699 (2000)
- 107.** Polansky, R., Riegler, H., Haas, M., Penkner, K., Lorenzoni, M., Bratschko, R. O.:
Myozentrische Kondylenposition bei gesunden Probanden und funktionsgestörten Patienten.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 388-390 (1999)
- 108.** Posselt, U., Addiego, B. J.:
A gnatho-thesiometric study of various Mandibuhlaar positions- in individuals with normal and abnormal Function of the temporomandibular joints.
Odont Rev 9 No1, 1 (1958)
- 109.** Pröschel, P., Feng, H., Ohkawa, S., Ott, R., Hofmann, M.:
Untersuchung zur Interpretation des Bewegungsverhaltens kondylärer Punkte
Dtsch Zahnärztl Z 48, 5, 323-326 (1993)
- 110.** Pröschel, P., Morneburg, T., Goedecke, U.:
Okklusale Fehler bei Mittelwerteinstellung im Artikulator.
Zahnärztl Mit 85, 2105 (1995)
- 111.** Raab, W.-H.-M., Ott, R. W.:
Untersuchungen zur Wahrnehmung parodontaler Reize.
Dtsch Zahnärztl Z 46, 349-351 (1991)

-
- 112.** Raadsheer, M.C., Kiliardis, S., van Eijden, T. M., van Ginkel, F.C., Prahl-Andersen, B.:
Masseter muscle thickness in growing individuals and its relation to facial morphology
Arch Oral Biol 41, 323-332 (1996)
- 113.** Ramfjord, S., Ash, M.:
Individuell optimale Okklusion.
Quintessenz, Berlin (1992)
- 114.** Ramfjord, S. P. Ash, M. M.:
Physiologie und Therapie der Okklusion.
Quintessenz, Berlin (1968)
- 115.** Ramfjord, S. P.:
Bruxism, a clinical and electromyographic study.
J Am Dent A 62, 21 (1961)
- 116.** Ramfjord, S. P.:
Dysfunctional temporomandibular joint and muscle Pain.
J Am Dent 11, 353 (1961)
- 117.** Rammelsberg, P., Pospiech, P., Gernet, W., Heumann, C., Toutenburg, H.:
Ätiologische Faktoren für Diskusverlagerungen im Kiefergelenk.
Dtsch Zahnärztl Z 51, 211-217 (1996)
- 118.** Rammelsberg, P., Jäger, L., Schubinski, P., Pho Duc, J.-M., Pospiech, P.:
Vermessung des Gelenkspaltes und seine Bedeutung für Diagnostik und Ätiologie von Diskusverlagerungen.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 339-344 (1999)
- 119.** Regber, K.:
Auswirkungen eines Kautrainings auf die Kaumuskulatur
Dissertation Uni Freiburg i. Br, (2002)
- 120.** Rehm, H.:
Die Bedeutung des Kiefergelenkes bei prothetischen Massnahmen und seine Berücksichtigung.
Zahnärztliche Welt, Konstanz (1947)

-
- 121.** Rehmann, P., Balkenhol, M., Biermann, M., Karska, J. M., Ferger, P., Wöstmann, B.:
Äquilibrirte und front-/eckzahngeführte Prothesen im Urteil des Patienten.
Dtsch Zahnärztl Z 58, 512-513 (2003)
- 122.** Reiber, T.:
Form und Funktion der Frontzähne des Oberkiefers.
Hanser, München (1992)
- 123.** Reichborn-Kjennerud, I.:
Funktionell prothetische Behandlung und Prophylaxe der Zahnlockerung und der Dysgnathien.
In: Haupl, K., Die Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde Vol 4.
Urban und Schwarzenberg, München (1956)
- 124.** Roßbach, A., Tschernitschek, H.:
Unilaterale Okklusionsstörungen im Oberflächenelektromyogramm.
Dtsch Zahnärztl Z 49, 239-241 (1994)
- 125.** Rugh, J.D., Johnson, R.W.:
Unterkieferbewegungen.
In: Mohl, N.D., Zarb, G.A., Carlson, G.E., Rugh, J.D. ;: Lehrbuch der Okklusion.
Quintessenz, Berlin (1990), S.149
- 126.** Ruf, S., Pancherz, H., Kirschbaum, M.:
Facial morphology and the size and activity of the masseter muscle.
Fortschr. Kieferorthop. 55, 219-227 (1994)
- 127.** Schärer, P.:
Bruxism In. Kawamura, Y. (ed.).
Frontiers of oral physiology vol 1, 293-322, Karger, Basel (1974)
- 128.** Schmideder, J.:
Die Aufzeichnung der Unterkieferbewegung, ein wichtiger Bestandteil der Behandlungsplanung.
In: Schmideder, J., Motsch, A., Registrierung der Unterkieferbewegung
Quintessenz, Berlin (1982)

-
- 129.** Schmidseider, J., Motsch, A.:
Registrierung der Unterkieferbewegung.
Quintessenz, Berlin (1982)
- 130.** Schulenburg, E., Sümnick, W., Schwahn, B.,:
Parafunktionen als ätiologischer Faktor kranio-mandibulärer Dysfunktionen.
Dtsch Zahnärztl Z 52, 620-622 (1997)
- 131.** Schulte, W., Wagner, M.:
Periotest zur quantitativen Bestimmung der okklusalen Belastung.
Dtsch Zahnärztl Z 45, 394-399 (1990)
- 132.** Schulz, D.:
Zahntechnikerhandbuch
Eigenverlag Bensheim (1993)
- 133.** Schulz, D., Winzen, O.:
Basiswissen zur Datenübertragung.
Teamwork media, Fuchstal (2004)
- 134.** Seeberger, B., Berten, J. L., Tränkmann, J., Schwestka-Polly, R.:
Korrelation zwischen Aufwanderung von Seitenzähnen und Lokalisation
temporomandibulärer Dysfunktionen.
Dtsch Zahnärztl Z 57, D25 (2002)
- 135.** Seedorf, H., Scholz, A., Seetzen, F., Sadat-Khonsari, M. R., Kirsch, I., Fenske, C., Jüde, H. D.:
Kompression des Kiefergelenks durch Stützzonenverlust.
Dtsch Zahnärztl Z 59, 468-471 (2004)
- 136.** Severin, R. M., Thier, D., Stein, M., Walther, E. K., Stark, H.:
Einfluss des Funktionszustandes des kranio-mandibulären Systems auf die
Symptome Dysphagie, Odynophagie und Globus pharyngis.
Dtsch Zahnärztl Z 58, 154-155 (2003)
- 137.** Slavicek, R.:
Beurteilung des sogenannten "anterior-feedback".
In: Drücke, W., Klemm, B., Kiefergelenk und Okklusion.
Quintessenz, Berlin (1980)

-
- 138.** Standlee, J.P., Caputo, A.A., Ralph, J.P.:
The condyle as a stress-distributing component of the temporomandibular joint.
J Oral Rehabil 8, 391 (1981)
- 139.** Stillman, P. R.:
Traumatic occlusion.
Nat Dent A J, 6, 691 (1919)
- 140.** Solberg, W. K., Clark, G. T.:
Das Kiefergelenk, Diagnostik und Therapie.
Quintessenz, Berlin (1983)
- 141.** Solnit, A., Curnutte, D.C.:
Korrektur der Okklusion – Grundlagen und praktische Anwendung.
Quintessenz, Berlin (1989)
- 142.** Stainer, M., Hilbe, M., Leja, W., Kulmer, S.:
Neigung und Sequenz von Führungselementen in gruppengeführten Okklusionen.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 325-328 (1999)
- 143.** Storey, A.T.:
Biomechanical and anatomical aspects of the temporomandibular joint.
In: Sessle, B.J., Mohl, N.D. (eds.): temporomandibular disorders and related pain conditions.
progress in pain research and management vol. 4. IASP, Seattle (1995), S. 257
- 144.** Tallgren, A.:
an elektromyographic study of the behavior of certain facial and jaw muscles in long-Term complete denture wearers.
Odont Tidsk 71, 425 (1963)
- 145.** Thielemann, K.:
Biomechanik der Parodontose.
Hermann Meusser, Leipzig (1938)
- 146.** Toller, P. A.:
opaque arthrography of the temporomandibular joint.
J Oral Surg 3, 17 (1974)

-
- 147.** Tschernitschek, H., Schliephake, H., Fink, M.:
Kraniomandibuläre Dysfunktion und Halswirbelsäulensymptomatik- wann gibt es Zusammenhänge?
Dtsch Zahnärztl Z 56, 270-272 (2001)
- 148.** Türp, J. C.:
Kaumuskelschmerzen und Kieferfunktion.
Dtsch Zahnärztl Z 52, 232 (1997)
- 149.** Van der Straeten, H., Bungart, I., Lückerrath, W.:
Die kondyläre Bewegungsdynamik bei Funktionsgesunden und Patienten mit reziprokem Kiefergelenkknacken.
Dtsch Zahnärztl Z 50, 486-490 (1995)
- 150.** Veltmaat, A., Günay, H., Geurtsen, W.:
In-vivo-Studie zur Epidemiologie der Kroneninfraktion bei gefüllten Seitenzähnen.
Dtsch Zahnärztl Z 52, 137-140 (1997)
- 151.** Vitti, M., Basmajian, J. V.:
Integrated actions of masticatory muscles: simultaneous EMG from eight intramuscular electrodes.
Anat Rec 187, 173-189 (1977)
- 152.** Waldeyer, A., Mayet, A. :
Anatomie des Menschen : ein Grundriß für Studierende und Ärzte, dargestellt nach systematischen, topographischen und praktischen Gesichtspunkten
de Gruyter, Berlin (1993)
- 153.** Wichmann, M.:
Untersuchungen zur Analyse von Kiefergelenkgeräuschen.
Dtsch Zahnärztl Z 49, 674-678 (1994)
- 154.** Widmalm, S. E., Lillie, J. H., Ash, M. M. Jr.:
Anatomical and electromyographic studies of the lateral pterygoid muscle.
J Oral Rehabil 14, 429-446 (1987)
- 155.** Wood, W. W.:
Medial pterygoid muscle activity during chewing and clenching.
J Prosthet Dent 55, 615-621 (1986)

-
- 156.** Wyke, B. D.:
Articular neurology-a review.
Phys Ther 58, 94 (1972)
- 157.** Yavelow, I., Arnold, G. S.:
Temporomandibular joint clicking.
Oral Surg 32, 708 (1971)
- 158.** Yoshida, K.:
Elektromyographische Aktivität des M. pterygoideus laterales bei Patienten mit
Kiefergelenkknacken und Diskusverlagerung.
Dtsch Zahnärztl Z 50, 721-724 (1995)
- 159.** Zimny, M. L.:
Mechanoreceptors in articular tissues.
Am J Anat 182, 16-32 (1988)
- 160.** Zwijnenburg, A. J., Kroon, G. W., Verbeeten, B. Jr, Naeije, M.:
Jaw movement responses to electrical stimulation of different parts of the
human temporalis muscle.
J Dent Res 75, 1798-1803 (1996)

8 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Lotzmann möchte ich für die Auswahl des Dissertationsthemas sowie für die ausgezeichnete Betreuung und Leitung meiner Aktivitäten danken. Seine konstruktiven Hinweise und Kritiken waren für mich stets Hilfe und Ansporn.

Herrn Dr. Brunner und der Firma Zebris danke ich für die Ausleihe des Gerätes zur Messung der Unterkieferbewegungen.

Frau Dr. Kottmann möchte ich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung danken.

Meinen Eltern danke ich für Ihre Unterstützung.

9 Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Aachen waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Deuticke, Diedrich, Faß, Gais, Gressner, Grußendorf-Conen, Handt, Kaufmann, Korr, Lampert, Riediger, Schmidt, Spiekermann

Meine akademischen Lehrer in Dresden waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Hetzer, Hoffmann, Walter, Päßler

Meine akademischen Lehrer in Greifswald waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Kocher, Meyer, Sümnick

10 Tabellarischer Lebenslauf

Anke Dittrich

17.01.1975	geboren in Halle/Saale, 2 Geschwister Eltern: Dr.Ing. Wolfgang Dittrich, Monika Dittrich, geb. Reichert-Facilides
1981 - 1983	Johannes R. Becher-Schule in Halle/Saale
1983 - 1989	N.K.Krupskaja-Oberschule in Halle/Saale
Sept. 1989	Umsiedlung in die BRD
1989 - 1994	Gutenberg-Gymnasium in Bergheim
Juli 1994 – Sept. 1995	Militärische Ausbildung in der Bundeswehr
Okt. 1995 – Febr. 2002	Studium der Zahnmedizin an der RWTH-Aachen, Karl-Gustav-Carus-Universität Dresden und Ernst- Moritz-Arndt-Universität Greifswald
Mai 2002	Staatsexamen in Greifswald
Juni 2002 . Dez. 2002	Sanitätsoffizier (Zahnarzt) im Marinestützpunkt- kommando Warnemünde
Aug. 2002	Einsatz Flutkatastrophe Elbe
Jan. 2003 – Dez. 2006	Sanitätsoffizier (Zahnarzt) im Sanitätszentrum Stadtallendorf/Hessen
Nov. 2004 – Febr. 2005	Bundeswehreinsatz im Kosovo
Mai 2005	Bundeswehreinsatz in Thailand, Tsunami- Katastrophe, Mitarbeit in der Identifizierungs- kommission unter Leitung des BKA Wiesbaden
Okt. 2005	Auszeichnung der Bundeszahnärztekammer und des Bundesministeriums für Verteidigung für den Einsatz in Thailand
Jan. 2007-Dez. 2007	Sanitätsoffizier (Zahnarzt) im Sanitätszentrum Merzig/Saarland
ab Jan. 2008	Sanitätsoffizier (Zahnarzt) im Sanitätszentrum Bruchsal/Baden-Württemberg
Mai 2008 – Juli 2008	Bundeswehreinsatz in Afghanistan

11 Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel: „Zum initialen Einfluss weiter Mundöffnungen bei zahnärztlicher Behandlung auf das Bewegungsmuster der Mandibula“ im Medizinischen Zentrum für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde unter Leitung von Prof. Dr. Lotzmann ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Marburg, den 13.01.2009